

**Vergleichende Diagnostik degenerativer Veränderungen
des Schultergelenks mit Ultraschall und MRI und
ihre anatomische Darstellung
- Eine experimentelle Studie -**

**Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin der
Justus-Liebig-Universität Gießen**

**vorgelegt von: Bernd Möhring
aus: Braunschweig**

Gießen, 2004

**Aus der Orthopädischen Klinik
der Justus Liebig Universität Gießen**

Leitung: Prof. Dr. H. Stürz

Gutachter: Prof. Dr. Melzer

Gutachter: Prof. Dr. Rau

Tag der Disputation: 10.02.2005

Inhaltsverzeichnis:

01. EINLEITUNG

**02. PHYSIKALISCH - TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER BILDGEBENDEN
DIAGNOSTIK**

02.1 Röntgen

02.2 Sonographie

02.3 Kernspintomographie

03. ZIELSETZUNG DER EIGENEN UNTERSUCHUNG

04. MATERIAL UND METHODIK

04.1 Sektionsgut

04.2 Gewinnung und Aufbewahrung des Untersuchungsmaterials

04.3 Nativ - Röntgen

04.4 Sonographische Untersuchung

04.5 Kernspintomographische Untersuchung

04.6 Einbettung und Schneidetechnik

05. Ergebnisse

05.1 Nativ - Röntgen

05.2 Sonographie

05.3 Kernspintomographie

05.4 Morphologische Befunde

06. BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

06.1 Vergleich zwischen bildgebenden und morphologischen Befunden

06.2 Vergleich zwischen Nativ - Röntgen und morphologischen Befunden

06.3 Vergleich zwischen Sonographie und morphologischen Befunden

06.4 Vergleich zwischen Kernspintomographie und morphologischen Befunden

07. DISKUSSION

08. ZUSAMMENFASSUNG

09. LITERATUR

10. ANHANG

01. EINLEITUNG

Das Schultergelenk ist seinem Bau nach ein Kugelgelenk. Zwischen der flachen, kleinen Gelenkpfanne, vergrößert durch das Labrum glenoidale und der Gelenkfläche des Humeruskopfes besteht eine große Diskrepanz. Die Form der Gelenkfläche bedingt das Fehlen einer knöchernen Führung. Sie wird vorwiegend durch die Muskeln und Sehnen der Rotatorenmanschette (M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor, M. subscapularis) und den M. deltoideus sowie in geringerem Maß durch Bänder (Ligg. glenohumeralia und Lig. coracohumerale) gewährleistet (62).

Die Schulter setzt sich funktionell aus vier Gelenken zusammen: Dem Glenohumeralgelenk (Artikulation des Humeruskopfes mit der Scapula), dem Acromioclaviculargelenk, dem Sternoclaviculargelenk sowie der Verschiebeschicht zwischen Scapula und hinterer Thoraxwand (29).

Darüber hinaus ist das Schultergelenk durch seine große Beweglichkeit, die kleine Gelenkpfanne im Verhältnis zur Größe des Humeruskopfes und den komplizierten Verlauf der Muskeln, Sehnen und Bänder ein anatomisch kompliziertes, komplexes System (05).

Fünf anatomische Besonderheiten kennzeichnen das Schultergelenk und machen es besonders anfällig für schmerzhaft Veränderungen die reaktiv zur Schonung des Gelenkes führen oder schmerzbedingt zur Bewegungsunfähigkeit führen:

- die lange Bizepssehne zieht durch das Humeroscapulargelenk (intraartikuläre Lage),
- der vereinigte Ansatz der Oberarmrotatoren - M. Supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor, M. subscapularis - in der so genannten Rotatorenmanschette ist unter dem Ligamentum coracoacromiale gelegen. Die Subscapularissehne ist nicht mit den übrigen Sehnen vereinigt. Bei jeder Abduktionsbewegung, insbesondere über 90° Grad, wird die Rotatorenmanschette zwischen dieser Bandstruktur, dem Tuberculum majus und dem Akromion komprimiert,
- die Gelenkkapsel ist relativ schwach ausgebildet,
- geringe knöcherne Führung des Glenohumeralgelenkes,

Die außerordentlich große Beweglichkeit im Schultergelenk wird durch das Zusammenspiel mit anderen Gelenken oder gelenkartigen Verbindungen erreicht:

- dem Humeroscapulargelenk, das die Verbindung zwischen Oberarm und Schulterblatt darstellt,
- das Schulterblatt artikuliert mit dem Thorax in der scapulo - thorakalen Gleitschicht und steht über das Acromioclaviculargelenk und Sternoclaviculargelenk mit dem Thorax in Verbindung (22).

Diese anatomischen Besonderheiten und der außerordentlich große Bewegungsumfang des Schultergelenkes bedingen die typischen posttraumatischen und degenerativen Erkrankungen des Schultergürtels.

Über 90 % der Schultererkrankungen haben ihren Ursprung in degenerativen Veränderungen der periartikulären Strukturen (74). Mit dem zunehmenden Freizeitangebot wächst auch die Zahl der sporttreibenden Bevölkerung. Hierdurch kommt es leider auch zu einem Anstieg der sportinduzierten akuten Verletzungen und chronischen Beschwerden (82). Dies kommt insbesondere bei Sportlern im mittleren und höheren Lebensalter zum Tragen, da Risse der Rotatorenmanschette vorwiegend in dieser Altersgruppe anzutreffen sind (82).

Muskel- und Sehnenverletzungen des Schultergelenks, besonders die der Rotatorenmanschette sind oft schwierig zu diagnostizieren.

Eine Beurteilung von außen durch Betasten ist aufgrund der Gewebeschichten (Haut, M. deltoideus, Akromion, Bursa), welche die Sehnen überlagern, unmöglich. Sie zu beurteilen bedarf es technischer Untersuchungsmethoden (83).

Alle Erkrankungen, auch die der Schulter, erfordern eine genaue Ursachenforschung des behandelnden Arztes. Es wird von ihm erwartet, dass er schnell, kostengünstig und mit möglichst geringer Belastung für den Patienten zu der richtigen Diagnose gelangt (29).

Bei jeder Art von Schmerzangabe in der Schulter muss differenzialdiagnostisch auch die Halswirbelsäule (HWS) als Ursache in Betracht gezogen werden.

Oft wird als Verlegenheitsdiagnose für Einsteifungs- und Schmerzzustände eine Periarthropathia humeroscapularis (PHS) diagnostiziert.

Diese Bezeichnung für sich ist ungenau und sollte vermieden werden. Es sollten mindestens vier verschiedene Krankheitsbilder, die von degenerativen

Veränderungen der periartikulären Strukturen der Schulter ausgehen, unterschieden werden.

Die aktuelle Klassifikation nach Hedtmann und Fett (25) beschreibt die Schmerzzustände als Subakromialsyndrome (SAS):

einfaches SAS	(annähernd) freie Beweglichkeit, positive Impingement- und Tendopathiezeichen
adhäsives SAS	eingeschränkte Beweglichkeit, vor allem der Innenrotation, Innenrotation mit Extension und in Adduktion
SAS bei Tendinosis calcarea	mit und ohne Bewegungseinschränkung. Impingement- und Tendopathiezeichen positiv, Kalknachweis in der RM
SAS bei RM - Defekt	nachgewiesener symptomatischer RM - Defekt, positive Impingement- und Tendopathiezeichen, Kraftminderung , fakultativ Einteifung
Rotatorendefekt-arthropathie (RDA), auch SAS bei RDA	Sekundärarthrose bei großem RM - Defekt mit deutlicher Dezentrierung des Humeruskopfes

Die ursprüngliche Krankheitsbezeichnung der PHS (37, 84) ging von folgender Differenzierung aus:

- PHS simplex	schmerzhaftes Schulter
- PHS acuta	hyperalgische Schulter
- PHS pseudoparalytika	Pseudoparalyse
- PHS ankylosans	Schultersteife

Beim einfachen Subacromialsyndrom bestehen degenerative Veränderungen (Tendopathien) im Bereich der Sehneninsertionen, insbesondere der Supra- und Infraspinatussehne. Ursache ist eine chronische Überlastung, einhergehend mit anhaltenden oder chronischen - intermittierenden Schmerzen (94).

Das Subacromialsyndrom bei Tendinosis calcarea ist durch eine Verkalkung der Rotatorenmanschette gekennzeichnet. Das Kalkdepot kann, einhergehend mit einem hyperalgischem Schmerz, in die Bursa subacromio-deltoides oder in das Gelenk durchbrechen (hyperalgisches Subacromialsyndrom). Nach wenigen Tagen klingt die Symptomatik ab.

Ein Rotatorenmanschettendefekt kann eine Pseudoparalyse zur Folge haben. Bei vorhandenen degenerativen Veränderungen kann ohne adäquates Trauma eine Ruptur auftreten. Bei kompletten Rotatorenmanschetteläsionen besteht eine Verbindung zwischen Gelenk und Bursa subacromio - deltoides. Bei inkompletten Läsionen entsteht eine Sehnenkontinuitätsunterbrechung an der Ober- oder Unterseite der Sehne. Ebenso treten Läsionen intratendinös auf. Klinisch kann eine schmerzbedingte Bewegungseinschränkung bestehen. Der passiv bis 90° Grad deviierte Arm kann mitunter nicht aktiv in dieser Stellung gehalten werden (fall drop sign). Dieses Phänomen tritt nur bei kompletten Rotatorenmanschetten - Rupturen auf. Als weitere Folge kann es zu einem Humeruskopfhochstand kommen.

W. BANDI (01) beschreibt, dass diese Rotatorenmanschetten - Rupturen im Allgemeinen erst nach dem dritten Dezennium auftreten und im Alter häufiger anzutreffen sind (74,82,93). In ca. 50 % der Fälle wird ein mehr oder weniger adäquates Trauma angegeben (Sturz auf den ausgestreckten Arm bzw. auf den rechtwinklig gebeugten Ellenbogen). Im Alter überwiegen degenerative Veränderungen, Autopsiebefunde bei über 50 Jahre alten Individuen ergaben in 25 % anamnestisch stumme Rotatorenrupturen, bei über 70 jährigen sogar in 100 % der Fälle (01,14,63). Degenerative Veränderungen der sehnigen Anteile der Rotatorenmanschette sind eine häufige Ursache von Schulterschmerzen. So sind nach ROTHMANN und PARKE (76) 100 % der über 70 - jährigen von Rotatorenmanschetten - Läsionen betroffen. Andere Untersuchungen gehen von nicht ganz so hohen Zahlen aus. KEYL (33) hat bei Sektionen älterer Menschen eine Rupturhäufigkeit von über 50% angegeben. REFIOR et al (71) kam in seiner Untersuchung an 195 Schultergelenken im Alter zwischen 2 und 85 Jahren zu einer Rupturhäufigkeit von 11 %.

Auch wenn die Angaben voneinander abweichen kann als gesichert gelten, dass pathologische Befunde mit zunehmendem Alter deutlich häufiger auftreten.

Entsprechend der Pathogenese finden sich auffällige Befunde häufiger im Bereich des dominanten Armes (01).

Die Ätiologie des adhäsiven Subacromialsyndroms (frozen shoulder, adhäsive Kapsulitis, Periarthritis humeruscapularis ancylosans, Schultersteife) ist ungeklärt (90), es kommt zu einer Fibrosierung und Schrumpfung der Gelenkkapsel (37). Die Ätiologie ist ungeklärt. Die Klinik besteht aus einem stadienhaften Verlauf:

Stadium I:

Schmerzen ohne Bewegungseinschränkung;

Stadium II:

Zurückgehende Schmerzen und zunehmende Bewegungseinschränkung;

Stadium III:

Muskelatrophie, zunehmende Bewegungseinschränkung, Bewegungen mitunter nur in der scapulo - thorakalen Gleitschicht

Stadium IV:

Wieder zunehmende Beweglichkeit ca. 5-6 Monate nach Krankheitsbeginn. Die Dauer bis zum Erreichen einer fast physiologischen Schulterfunktion von 1-3 Jahren (self limiting) nach KRÄMER (36) ist ungenau und zu kurz. MELZER et al. (54) fanden heraus, dass 93% der untersuchten Patienten nach 3,7 Jahren die maximale Beweglichkeit wieder erlangt haben.

Bildgebende Verfahren sind die wichtigsten diagnostischen Methoden. Als Standard können das Nativ - Röntgen und die Ultraschalluntersuchung angesehen werden. Letztgenannte ist kostengünstig, ohne Nebenwirkungen für den Patienten und sie geht mit einem relativ geringen technischen Aufwand einher, was sie nahezu überall verfügbar macht. Die Untersuchungsgeräte sind mobil und die Bilder sind sofort verfügbar. Sowohl bei der Untersuchung degenerativer als auch bei traumatischen Krankheitsursachen hat sie sich bewährt (50,44,57,91).

Akute Verletzungen sind nach ihrem Ausmaß und ihrer Entstehung vergleichsweise gut zu diagnostizieren. Die Anamnese und die Analyse des Unfallherganges geben erste Hinweise auf die zu erwartende Verletzung. Durch das Nativ - Röntgen werden knöcherne Verletzungen im Allgemeinen erkannt. Die periartikulären Strukturen lassen sich durch die Ultraschalluntersuchung darstellen (19). Bei Verletzungen finden sich eine Kontinuitätsunterbrechung der Strukturen oder eine

Flüssigkeitsansammlung (Hämatom) (23,92).

Degenerative Veränderungen sind erheblich schwieriger zu erfassen. Die Anamnese liefert meist keine konkreten Informationen über die Ursache der Schmerzen. Auch fehlt der Hinweis, welche Struktur verändert und Grund für die Schmerzen ist. Der Übergang von Normalbefund und pathologischem Befund resp. altersphysiologischen Befund ist fließend. Die Interpretation der bildgebenden Verfahren ist somit schwierig.

Unabhängig von dieser Problematik stehen bei jeder Art von Schulterbeschwerden die ausführliche Anamnese und die klinische Untersuchung an erster Stelle.

Aus der Anamnese ergeben sich meist Hinweise auf die Genese der Beschwerden.

Differentialdiagnostisch sollte bei Schulterbeschwerden immer auch die Wirbelsäule, insbesondere die Halswirbelsäule als Beschwerdeursache in Betracht gezogen werden. Veränderungen an der Halswirbelsäule werden unter dem Sammelbegriff HWS-Syndrom zusammengefasst. Es können folgende Veränderungen bestehen:

- Degenerative Veränderungen, (Spondylarthrose, Segmentinstabilität, Osteochondrose),
- Wirbelkörper-Blockierungen,
- Bandscheibenvorfall,
- diskoligamentäre Verletzungen,
- Tumor,
- Instabilitäten bei rheumatischen Erkrankungen,
- Spondylitis,
- Spondylodiszitis,
- psychogene Ursache.

Die konventionelle Nativ - Röntgenbilduntersuchung der Schulter ist ein unverzichtbarer Bestandteil der Diagnostik bei Schulterschmerzen (24). Die Standardröntgenuntersuchung erfolgt in zwei Ebenen. Sie sollte immer am Beginn stehen, auch wenn durch das konventionelle Röntgenbild in erster Linie die knöchernen Strukturen beurteilt werden. Nativ - Röntgenbilder sind auch geeignet zum Nachweis von Verkalkungen und reaktiven Veränderungen der knöchernen Strukturen.

Weiterhin kann die Stellung der knöchernen Gelenkanteile zueinander beurteilt werden.

Knöcherne Verletzungen des Schultergelenkes lassen sich durch die klinische Untersuchung und die konventionelle Röntgendiagnostik im allgemeinen ausreichend abzuklären.

Die Arthrographie ist eine Untersuchung zur Darstellung von Rotatorenmanschettenrupturen. Nach Punktion des Schultergelenkspaltes unter Durchleuchtung wird Kontrastmittel appliziert. Anschließend werden Aufnahmen der Schulter unter Durchleuchtung in verschiedenen Gelenkstellungen angefertigt. Anhand der Verteilung des Kontrastmittels können Verletzungen diagnostiziert werden. Tritt Kontrastmittel in die Bursa subacromio - deltoidea über, liegt meistens ein Riss der Rotatorenmanschette vor. Inkomplette Verletzungen können nicht verlässlich nachgewiesen werden (49,85).

Die Nativ-Computertomographie ist weniger geeignet, pathologische Veränderungen der Rotatorenmanschette darzustellen. Hilfreich und aussagekräftig ist sie vor allem bei Schäden im Zusammenhang mit der Schulterluxation (24). Eine weitere Indikation für die Computertomographie stellen Weichteil- und Knochentumore dar (32).

Verletzungen des Labrum glenoidale lassen sich durch die Computertomographie mit Kontrastmittelgabe darstellen.

Um die weichteildichten Strukturen des Gelenkraumes gegeneinander abzugrenzen, ist eine Untersuchung im Mono- oder Doppelkontrast notwendig, die Gefahr einer iatrogenen Komplikation besteht. Wird Kontrastmittel in die Schulter injiziert, sollte außerdem eine konventionelle Arthrographie durchgeführt werden (85).

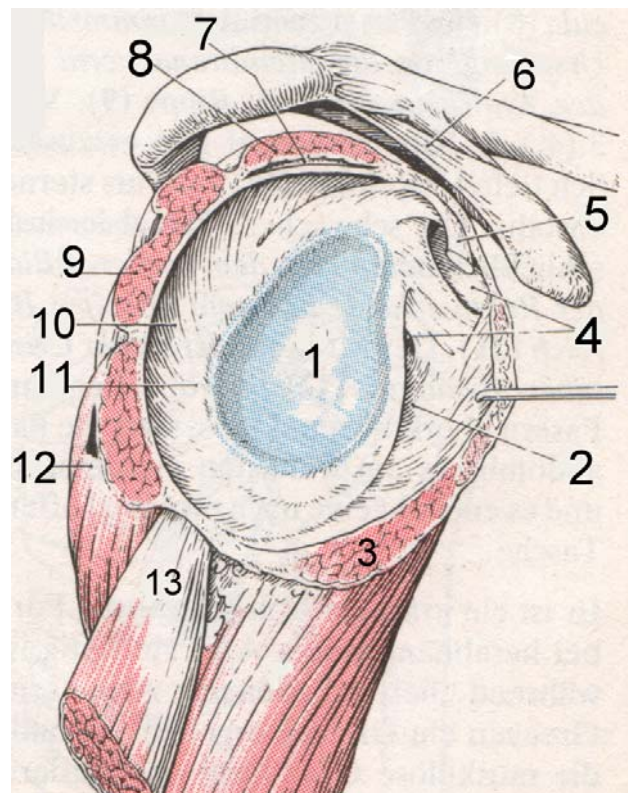
Zunehmende Bedeutung erlangt die Arthroskopie des Schultergelenkes. Verbesserte Techniken und die zunehmende Erfahrung der Untersucher fördern die Bereitschaft diesen operativen Eingriff dem Patienten anzubieten, um die Ursache für Schmerzen zu finden. Allerdings sollte die invasive Technik als letztes Mittel eingesetzt werden. Es sollte auch immer ein therapeutischer Eingriff angestrebt werden, rein diagnostische Eingriffe rechtfertigen in der Regel keine Arthroskopie. Somit zählt die Schulterarthroskopie nicht zu den diagnostischen Routineuntersuchungen (93).

Invasive diagnostische Maßnahmen kommen heute nur noch selten zum Einsatz (51).

Die Skelettszintigraphie steht an erster Stelle der nuclearmedizinischen Diagnostik in der Traumatologie (85). Sie ist besonders geeignet occulte Frakturen (kleinste Frakturen ohne Verschiebungen) nach einem bestimmten Zeitintervall zum Trauma nachzuweisen.

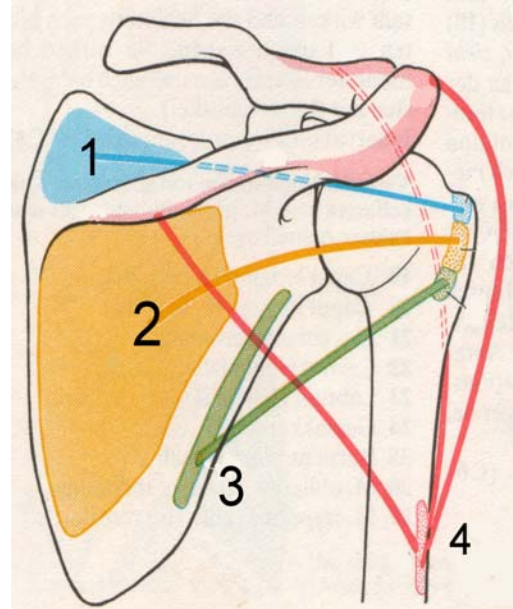
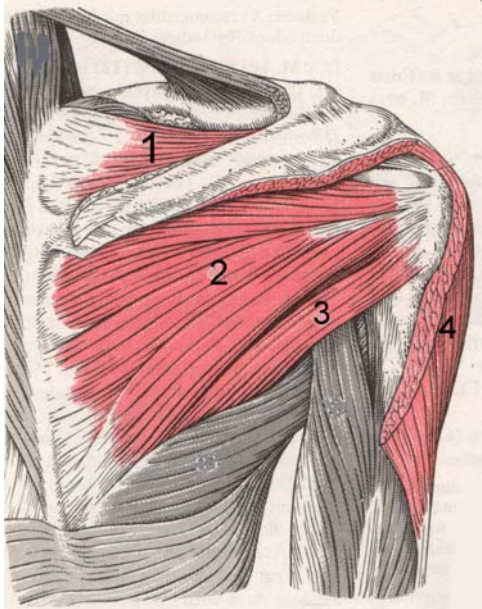
Außerdem können entzündliche Prozesse mit Hilfe der Granulozytenszintigraphie identifiziert werden. Die Skelettszintigraphie weist eine hohe Sensitivität auf, aber trotz Kenntnis der Klinik und des Röntgenbefundes führt der Nachweis einer Mehranreicherung nicht eindeutig zur Diagnose. Der Einsatz von strahlendem Material macht erhebliche Vorsichtsmaßnahmen erforderlich. Der technische Aufwand amortisiert sich nur bei hoher Geräteauslastung, so dass dieses Verfahren nur als Zusatzuntersuchung in Kliniken zur Verfügung steht.

Ebenfalls technisch aufwendig ist der Einsatz der Kernspintomographie. Diese den Patienten wenig belastende, ungefährliche Untersuchungstechnik gewinnt zunehmend an Bedeutung (35). Dies hängt mit der stetig steigenden Erfahrung der Anwender, mit dem Fortschritt der Gerätetechnik und der zunehmenden flächendeckenden Verfügbarkeit zusammen. Die multiplanare Darstellungsmöglichkeit der Kernspinuntersuchung gestattet eine Darstellung der komplexen Anatomie des Schultergelenkes (28). Dazu eignen sich neben axialen Schichten auch Bildebenen parallel und senkrecht zur glenoidalen Gelenkebene. Zur Verbesserung der Bildqualität werden Oberflächenspulen eingesetzt. Die Schichtdicke sollte 3 mm nicht überschreiten. Die komplizierte Anatomie mit Rotatorenmanschette, langer Bizepssehne, Gelenkkapsel, Knorpelüberzug, Muskeln und Knochen können übersichtlich dargestellt werden. Insbesondere die Weichteile sind dieser Untersuchungstechnik zugänglich (02,03,05,61,72). Mitentscheidend für die Aussagefähigkeit ist die Erfahrung des Untersuchers. Auch entstehen bei der Befundung der Bilder durch Interpretationsunterschiede der Untersucher unterschiedliche Diagnosen. Je besser die Bildqualität ist, je dichter die Schichten gelegt werden, desto genauer ist die Diagnose. Entsprechend groß muss die Rechnerkapazität sein, um aussagefähige Bilder zu erhalten. Das Errechnen von 3D Rekonstruktionen dauert sehr lange und ist daher noch nicht routinemäßig einsetzbar, es bleibt auf einzelne Spezialfälle beschränkt.



- | | | | |
|---|------------------------------------|----|----------------------------|
| 1 | Cavitas glenoidalis | 10 | Gelenkkapsel |
| 2 | Bursa subtendinea m. subscapularis | 11 | Labrum glenoidale |
| 3 | Musculus Subscapularis | 12 | M. teres minor |
| 4 | Bursa subcoracoidea | 13 | Caput longum m. tricipitis |
| 5 | Caput longum m. bicipitis | | |
| 6 | Lig. coraco-acromiale | | |
| 7 | Bursa m. supraspinati | | |
| 8 | M. supraspinatus | | |
| 9 | M. infraspinatus | | |

Abb. 01: Sagitalschnitt des Schultergelenkes, Darstellung der komplexen Anatomie



- 1 M. supraspinatus
- 2 M. infraspinatus
- 3 M. teres minor
- 4 M. deltoideus

Abb. 02: Schultermuskeln dorsal (31)

02. PHYSIKALISCH - TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER BILDGEBENDEN VERFAHREN

02.1. Röntgen

Seit Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen im Jahre 1895 hat sich die Röntgendiagnostik schnell etabliert. Heute besteht die klassische Röntgenanlage aus drei Komponenten:

- der Röntgenröhre
- dem Strahlenempfänger (Detektor)
- einer Justiereinrichtung, die es dem Untersucher erlaubt, das Objekt optimal in dem Strahlengang zu platzieren.

Um eine gute Bildqualität zu erzielen ist die Röntgenröhre als Strahlungsquelle von elementarer Bedeutung. Folgende Einflussgrößen gibt es:

- die Strahlenhärte, abhängig von der Höhe der an die Röhre angelegten Spannung U
- die Strahlenintensität, abhängig von dem Stromfluss I in der Röhre
- Brennfleckgröße und Energieverteilung im Brennfleck

Die Funktionsweise einer gewöhnlichen Röntgenröhre aus dem medizinischen Bereich lässt sich wie folgt beschreiben:

Kathode und Anode stehen sich gegenüber. Durch die aus einem Wolframdraht von 0,2 - 0,3 mm Durchmesser bestehende Kathode fließt ein Strom, welcher Hitze erzeugt. Durch die Erwärmung auf ca. 2000° C glüht die Kathode und es werden Elektronen emittiert. Zwischen Kathode und Anode wird in einem Vakuum eine Hochspannung angelegt, die zu einer Beschleunigung der freigesetzten Elektronen führt. Die jeweilige Beschleunigung hängt von der Stärke des angelegten Spannungsgefälles zwischen Kathode und Anode ab. Die emittierten Elektronen werden beim Auftreffen auf die Anode (bestehend aus Wolframtarget) plötzlich stark abgebremst. Dabei wird die kinetische Energie zu 99% in Wärme umgewandelt, der Rest in Photonenstrahlung die ein kontinuierliches Spektrum von Röntgenstrahlen unterschiedlicher Energie und Durchdringungsfähigkeit darstellt.

Als Röntgenstrahlen werden elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen zwischen 30 nm und 10^{-5} nm bezeichnet.

Die Strahlung breitet sich geradlinig aus und ist vor dem zu untersuchenden Objekt von gleichmäßiger Intensität. Die Strahlung durchdringt das Objekt und wird in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften geschwächt. Auf diese Weise wird ein Bild auf dem Detektor (Film, Leuchtschirm) durch unterschiedliche Graustufen erzeugt (06).

Um möglichst kontrastreiche Bilder zu erhalten, muss die Strahlungsquelle punktförmig sein; auch ist es notwendig die Streustrahlung zu reduzieren. Dies wird durch Einblenden, Kompression und ausreichend großen Abstand zwischen Detektor und Objekt erreicht (39).

Jede von uns entnommene Schulter wurde mit einem herkömmlichen, stationären Röntgengerät der Firma Siemens untersucht.

Bei der Röhreneinstellung wurde darauf geachtet, dass der Fokus zentriert zur Gelenkspaltmitte ausgerichtet war. Um eine große Bildschärfe zu erreichen, wurde der Strahlengang so weit wie möglich eingeblendet.

02.2 Sonographie

Die Ultraschalldiagnostik kann als Fortentwicklung der über 200 Jahre alten Technik der Perkussion aufgefasst werden. Beide Verfahren beruhen auf der Weiterleitung von mechanischen Schwingungen im menschlichen Körper (30).

Erzeugung und Empfang von Ultraschallwellen in der heute gebräuchlichen Form gehen auf die Entdeckung der Gebrüder *Curie* zurück (21). Sie fanden sie an piezoelektrischen Kristallen. Durch eine Änderung der elektrischen Ladung kann eine Dichtänderung erzielt werden (Sender) oder bei Umkehrung des Prinzips kann durch eine Dichteänderung eine Umwandlung der elektrischen Ladung (Empfänger) erfolgen (20).

Zunächst wurde die Ultraschalltechnik für nicht medizinische Zwecke eingesetzt. Sie fand Anwendung bei der Bestimmung des Reifegrades von Schweizer Käse und diente der Ortung von getauchten U - Booten. 1938 setzte der Neurologe K. DUSSIK (10) die Sonographie zur Diagnostik intracranieller Veränderungen ein.

1952 entwickelten D. W. Howry und R. Blies den Compound - Scanner. Es ist ein heute nicht mehr zeitgemäßes Verfahren. Das B - Scan - Verfahren hat den

Vorteil der Darstellung großer Körperbereiche doch ohne zeitgerechte Miterfassung von Organbewegungen. Aufgrund des langsamen Bildaufbaus kommt es zur erheblichen Artefaktbildung (77).

Die Ultraschalldiagnostik bedient sich Frequenzen, die oberhalb des menschlichen Hörbereichs liegen. Die Frequenzen der Schallwellen, die für die Darstellung von Schnittbildern aus dem menschlichen Körper verwendet werden, liegen bei Werten von 1 - 12 MHz. Das entspricht 1 - 12 Mio. Schwingungen / s; der menschliche Hörbereich endet bei 20 000 Schwingungen / s = (20 kHz) (30).

Um die Schwingungen zu erzeugen und die reflektierten Schallwellen zu empfangen sind speziell ausgestattete Geräte erforderlich. Die Erzeugung von Ultraschallwellen beruht auf der Umkehrung des piezoelektrischen Effektes. Durch die mechanische Verformung bestimmter Kristalle, (z. B. des Quarzes Turmalin) entsteht an der Oberfläche eine elektrische Spannung (38).

Legt man an ein dünnes Kristallplättchen, das eine oder mehrere polare Achsen aufweist und somit aus einem unsymmetrisches Kristallgitter besteht, eine elektrische Spannung, so ändert es seine Dicke. Eine Wechselspannung regt es zu rhythmischen Dickenänderungen entsprechender Frequenz an, die als Dichtewellen an die Umgebung abgegeben werden. Umgekehrt (= direkter piezoelektrischer Effekt) führt eine mechanische Verformung der polaren Kristallplättchen zur Veränderung der elektrischen Ladung an der Oberfläche, die gemessen werden kann (47).

Der Schallstrahl entsteht nicht durch eine Molekülwanderung, sondern die Moleküle schwingen um ihre Ruhelage mit der Anregungsfrequenz. Es entsteht eine räumlich wandernde Welle. Die Verschiebung der Teilchen nennt man Elongation ζ ; die Geschwindigkeit der Auf - und Abbewegung der Teilchen Schallschnelle v (Dimension: m/s) (39).

Die Ausbreitung der Ultraschallwellen ist demzufolge an Materie gebunden. In Flüssigkeiten und in biologischen Geweben pflanzen sich die Schallwellen longitudinal fort. Es gelten die aus der Lichtoptik bekannten Gesetze der Reflexion, Brechung und Beugung (22).

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit v des Schalls ist eine Materialkonstante. Die Schallgeschwindigkeit c ist umso größer, je fester die Verbindungen und je

kleiner die Molekülmasse der Gewebe sind (39). Sie beträgt in tierischem und menschlichem Weichteilgewebe durchschnittlich 1540 m/s, (Fettgewebe ca. 1450 m/s; parenchymatöse Organe/ Muskel ca. 1580 m/s, Knochen ca. 3360 m/s) (09, 22, 78).

Das Prinzip der medizinischen Ultraschalldiagnostik lässt sich wie folgt beschreiben: Beim Übertritt von einer Schicht in eine andere, z.B. von Fettgewebe in Muskelgewebe, treten Reflexionswellen an der Grenzschicht infolge unterschiedlicher Schallwellenwiderstände (Impedanzen) auf. Je mehr sich die Wellenwiderstände der beiden Stoffe unterscheiden, desto größer wird der reflektierte Anteil (09,11). Impedanzunterschiede von 1 % reichen aus, um verwertbare Bilder zu erhalten.

Da bei biologischen Geweben die akustischen Eigenschaften (Ausnahme: Knochen) sehr ähnlich sind wird nur ein geringer Anteil der Schallwellen reflektiert, der größere Teil wird transmittiert. Dies hat den Vorteil, dass Schallwellen auch in tiefere Gewebeschichten eindringen (22).

Es resultieren unterschiedlich starke Wellen, die vom Schallkopf empfangen, elektronisch aufgearbeitet und zur Bilderzeugung herangezogen werden können.

Diese Methode der Darstellung wird B - Bild Verfahren (B – Scan, Brightness - Scan, Helligkeits - Scan) genannt.

Der ausgesandte Schallstrahl wird automatisch über eine Linie hin und her bewegt, wobei eine Schnittfläche abgetastet (Schnittbildmethode) und auf dem Bildschirm wiedergegeben wird. Die einzelnen Echos werden entsprechend dem Ort ihrer Entstehung als Lichtpunkte dargestellt. Ein Lichtpunkt ist umso heller, je stärker das Echo ist (Grauwertskala). Die Schichtdicke der erzeugten Bilder beträgt ca. 1 mm. Dynamische Bilder sind nur mit einer Bildfrequenz von 10 bis 50 Bildern pro Sekunde möglich (41).

Folgende physikalische Grundlagen liegen der sonographischen Bildentstehung zugrunde:

Trifft eine Schallwelle auf eine Grenzfläche von zwei Geweben unterschiedlicher Impedanz, löst die sprunghafte Änderung der Teilchenbewegung eine **Reflexion** aus (21).

Beim Auftreffen der Schallwelle im rechten Winkel ist die reflektierte Energie (Echo) allein abhängig von der Sendeenergie und der Impedanzdifferenz.

Je höher die Frequenz des Sendeimpulses, umso besser ist die Auflösung im dargestellten Bild (45).

In der Praxis beträgt der reflektierte Anteil der Schallwellen weniger als ein Prozent, der Sendeimpuls wird auf dem Weg durch das Gewebe fortlaufend abgeschwächt (13). Diese Abschwächung der Schallwellen im Objekt wird als **Dämpfung** bezeichnet und nimmt mit der Höhe der Schallfrequenz zu.

Um auch aus tieferen Gewebsschichten verwertbare Bilder zu erhalten, verfügen die Ultraschallgeräte über einen Tiefenausgleich (depth-/time-gain-compensation, DGC oder TGC - Ausgleich), welcher bewirkt, dass Echos mit einer längeren Laufzeit (aus tieferen Gewebeschichten) elektronisch verstärkt werden (13).

Treffen Ultraschallwellen auf "raue" Grenzflächen, kommt es zum Phänomen der **Streuung**, einer ungerichteten Reflexion (21). Je höher die Frequenz, desto größer der Anteil, der in alle Richtungen gestreuten Wellen. Der Vorgang der Streuung ist mit Energieverlust verbunden (62).

Auch die **Absorption**, die Umwandlung von Schwingungsenergie in Wärme (Reibungsverlust) bewirkt eine Abschwächung der Schallwellen. Auf die Absorption entfällt der größte Anteil des Energieverlustes. Auch hier ist der Verlust um so größer, je höher die Frequenz ist (13,22).

Ein besonderes Problem stellen **Artefakte** dar, die es zu erkennen gilt, um Fehldeutungen zu vermeiden. Artefakte sind Bestandteile eines Bildes, die keiner realen Struktur entsprechen:

Trifft der Ultraschall auf eine Grenzfläche mit großen Impedanzunterschieden (z. B. Knochen - Luft), so kommt es zu einer **Totalreflexion**. Alle Gewebsschichten, die hinter dieser Grenzschicht liegen, können nicht abgebildet werden. Der Ort des Hindernisses wird in Abhängigkeit von der Richtung der Reflexion entweder hell oder gar nicht abgebildet (30).

Treffen Ultraschallwellen auf eine runde Oberfläche mit großem Impedanzunterschied (Sehne - Knochen), so werden die rechtwinklig auftreffenden

Wellen vollständig reflektiert. Die Wellen, die lateral und nicht rechtwinklig auftreffen, werden vom Transducer nicht erfasst und erzeugen keine Bildpunkte. Auf diese Weise kann z. B. am runden Humeruskopf das Bild einer Pseudousur entstehen.

Beim Übertritt von Schallwellen von einem langsam leitenden auf ein schneller leitendes Objekt werden die Wellen zum schneller leitenden Medium hin gebrochen (**Brechungsgesetz**).

Aus der Totalreflexion resultiert das Phänomen des **Schallschattens**. Es handelt sich um eine echofreie Zone hinter einem Objekt. Er kann auch durch die Absorption der gesamten Energie in einem Objekt entstehen. Reflexion und Absorption können einander ergänzen (22).

Bei **Beuge - Artefakten** werden Schallwellen von einer rauen Oberfläche in ihrer Ausbreitungsrichtung in der Weise abgelenkt, dass sie in den vermeintlichen Schallschatten gebündelt werden und hier eine reflexreiche Struktur vortäuschen. Je höher die Frequenz ist, umso weniger ausgeprägt sind diese Artefakte.

Zu **Wiederholungsechos** kann es an stark reflektierenden Grenzflächen kommen. Dabei kann der Sendeimpuls zwischen einer Grenzfläche und dem Transducer (Schallkopf) und zwischen zwei Grenzflächen im Körper hin und her laufen. Infolge des identischen Laufzeitunterschieds entstehen Wiederholungsechos, die an den äquikonstanten Abständen erkennbar sind. Schallwellen die häufiger die Strecke zwischen den Grenzflächen zurückgelegt haben werden tiefer abgebildet (Umsetzung von Zeit in Wegstrecken) (09,13).

02.3. Kernspintomographie

Auf die Möglichkeit, die Kernspinresonanz - Technik für medizinische Zwecke zu nutzen, wurde erstmals 1971 hingewiesen.

LAUTERBUR (1973) beschrieb als erster die Möglichkeit der Bilderzeugung durch Kernspinresonanz.

Für die medizinische Diagnostik ist der Wasserstoffkern von größter Bedeutung. Er besteht aus einem Proton und erzeugt durch seine Eigenrotation ein minimales Magnetfeld. Wasserstoffkerne sind in ausreichender Anzahl im menschlichen Gewebe vorhanden. Nur Atomkerne mit ungerader Neutronen- oder Protonenzahl haben die Eigenschaft der Eigenrotation (spin, engl. = Drall).

Alle Atomkerne mit Spin können als Elementarmagnete angesehen werden. Ein Magnetfeld entsteht nicht. Bringt man nun diese in keine bestimmte Richtung ausgerichteten Atomkerne in ein äußeres Magnetfeld, so richten sich alle Kernmagnete parallel zum äußeren Magnetfeld aus.

Die Elementarmagnete reagieren auch auf äußere hochfrequente elektromagnetische Wechselfelder. Jede Atomkernart hat eine für sie charakteristische Frequenz, durch die sie abgelenkt werden können. Dieser Zusammenhang wird als Relaxation bezeichnet.

Die Resonanzfrequenz für H - Kerne beträgt bei einer Magnetfeldstärke von 1 Tesla (T): 42.58 MHz (39).

Wird das Hochfrequenzfeld eingeschaltet, werden die Atomkerne mit der entsprechenden Resonanzfrequenz im Magnetfeld geringgradig in eine andere Richtung abgelenkt. Nach dem Abschalten erreicht das Kernresonanzsignal seinen Maximalwert.

Dieser nur für Bruchteile von Sekunden dauernde Vorgang wird von einer Empfangsspule registriert und in Grauwerte (Bilder) umgewandelt.

Da es sich bei den Relaxationszeiten um Zeitkonstanten handelt und diese in Abhängigkeit von der Umgebung der Atome variabel sind, unterscheiden wir T_1 und T_2 gewichtete Bilder. Die Umgebung stellt zum einen das Kristallgitter (in dem die Kerne angeordnet sind) dar und zum anderen die Nachbarschaft der anderen Kernmagnete.

Die T_1 - Zeit entspricht der Längs- oder Gitterrelaxation. Das Kristallgitter wird minimal erwärmt. Gewebe mit hohem Wassergehalt und Flüssigkeiten erscheinen dunkel.

Die T_2 - Zeit ist ein Maß für die Rückbildung der Quermagnetisierung. Es handelt sich dabei um Interaktionen der Kernspins, deshalb wird die T_2 - Zeit auch als Spin-Spin-Relaxation bezeichnet. Flüssigkeiten werden hell dargestellt.

Protonen gewichtete Bilder entstehen, wenn für die Bilderzeugung sowohl T_1 - als auch T_2 - Bilder als Mischbild dargestellt werden.

Das Bild in der Kernspintomographie setzt sich aus zahlreichen Einzelmessungen zusammen, die Rechner - gestützt aufgearbeitet werden. Zugrunde gelegt werden

die magnetischen Feldgradienten die durch die Anregung der H_1 - Kerne entstanden sind und in Bildpunkte umgerechnet werden.

Da die Ausrichtung der Feldgradienten in allen drei Ebenen des Raums erfasst werden können, können bedarfsangepasst transversale -, sagitale - und koronare Schnittbilder errechnet werden.

03. ZIELSETZUNG DER EIGENEN UNTERSUCHUNG

Bis vor ein paar Jahren konnte ein sonographisch erhobener Befund an der Schulter nur mit Hilfe der Arthrographie, der Arthroskopie oder offen operativ überprüft werden.

Seit Einführung der Kernspintomographie steht ein weiteres bildgebendes Verfahren zu Verfügung, das für den Patienten ähnlich wie die Sonographie minimal belastend ist.

Sonographie und Kernspintomographie sind in der Lage neben kompletten und inkompletten Rupturen der Rotatorenmanschette auch degenerative Veränderungen an den Sehnen darzustellen.

In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, welches Verfahren besser geeignet ist, pathomorphologische Veränderungen an den Sehnen des Schultergelenkes darzustellen.

Außerdem soll festgestellt werden, ob und wenn wieweit die beiden Verfahren sich sinnvoll ergänzen.

Es soll untersucht werden, wie bestimmte Befunde der bildgebenden Verfahren am makroskopischen Schulterpräparat verifizierbar sind.

Die bildgebenden Verfahren sollen mit dem morphologischen Befund verglichen werden.

Dabei gilt es auch, die Grenzen und Leistungsfähigkeit der einzelnen Verfahren aufzuzeigen.

04. MATERIAL UND METHODIK

04.1 Sektionsgut

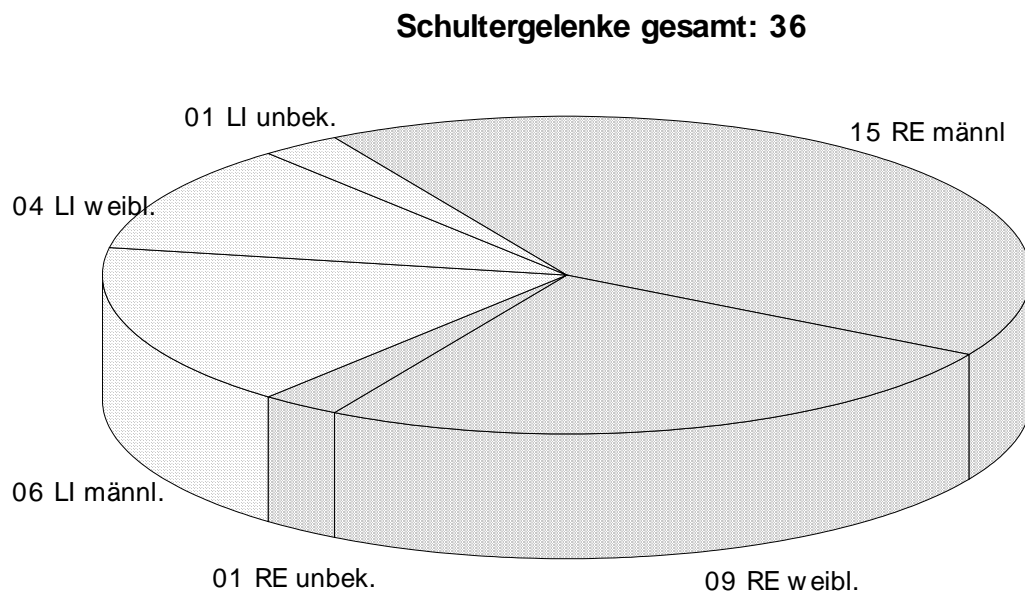


Abb. 03: Anzahl rechter Schultergelenke = RE
Anzahl linker Schultergelenke = LI
unter Berücksichtigung der Geschlechter

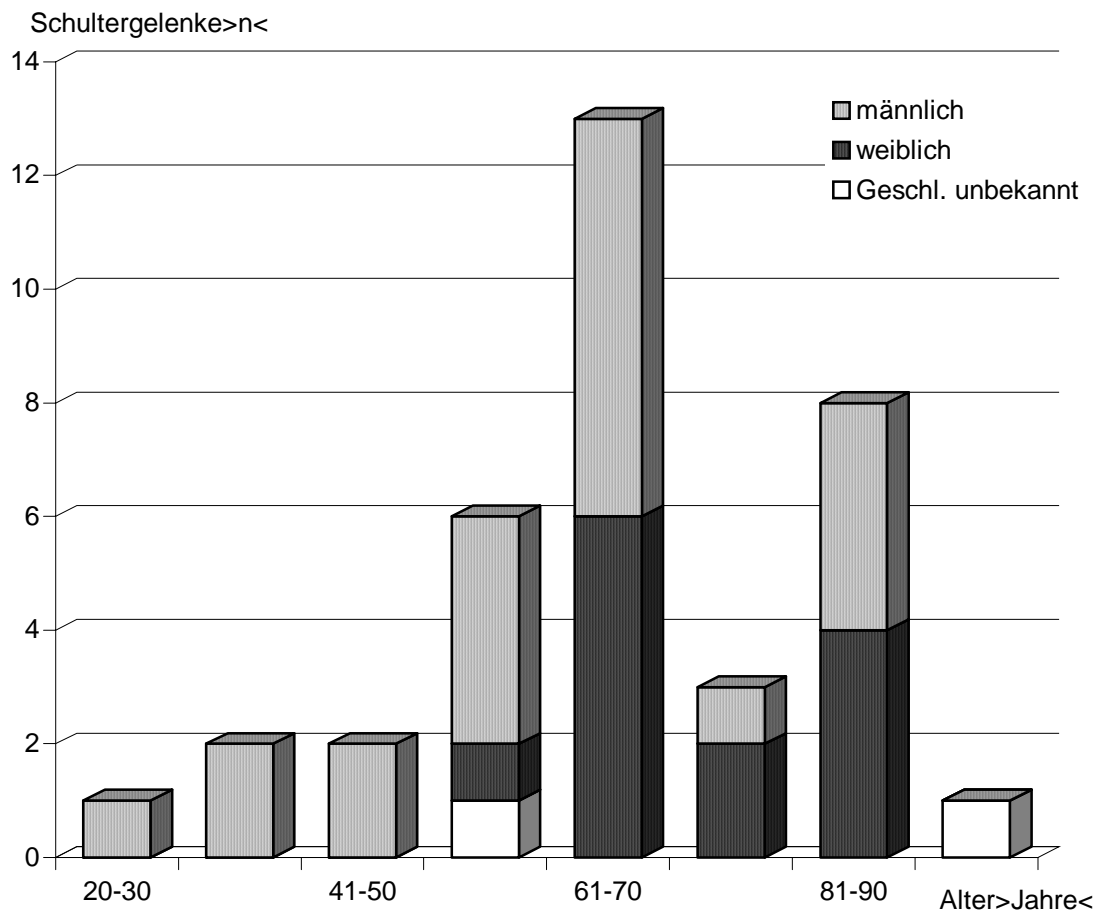


Abb. 04: Alters- und Geschlechtsverteilung

Alle Leichen-Schultergelenke, die für die vorliegende Arbeit verwendet wurden, stammen von Individuen, die in der Pathologie der Justus Liebig Universität in Gießen obduziert wurden. Da keine Auswahlkriterien festgelegt wurden, entspricht das Untersuchungsmaterial dem alltäglichen Sektionsgut einer Universitätspathologie.

Das Kollektiv besteht aus sechsunddreißig Schultergelenken, die zwischen Januar 1992 und Juli 1992 gewonnen wurden.

Zunächst wurden fünfundzwanzig rechte Schultergelenke entnommen, im Anschluss daran elf linke Schultergelenke (Abb. 03). Bei den rechten Schultergelenken wurden

fünfzehn männliche, mit einem Durchschnittsalter von 62,9 Jahren und neun weibliche, mit einem Durchschnittsalter von 72,7 Jahren, untersucht. Bei einer rechten Schultergelenk ist das Geschlecht unbekannt. Das Durchschnittsalter aller rechten Schultergelenke betrug 66,2 Jahre.

Bei den linken Schultergelenken wurden sechs männliche, mit einem Durchschnittsalter von 59,8 Jahren und vier weibliche, mit einem Durchschnittsalter von 74,5 Jahren, untersucht. Bei einem linken Schultergelenk ist das Geschlecht und das Alter unbekannt. Das Durchschnittsalter aller linken Schultern betrug 65,7 Jahre. Das Durchschnittsalter aller männlichen Schultergelenke betrug 62,0 Jahre, dass der weiblichen Schultergelenke betrug 73,3 Jahre (Abb. 04).

Das Gesamtdurchschnittsalter betrug 66,1 Jahre.

Eine Schulter war operativ mit Metallplatten (Arthrodesen) versorgt worden, so dass auf eine sonographische- und kernspintomographische Untersuchung verzichtet werden musste.

04.1 Gewinnung und Aufbewahrung des Untersuchungsmaterials

Die Leichen-Schultergelenke konnten nach unseren Vorgaben entnommen werden. Berücksichtigung fanden sowohl die Schonung des Leichnams als auch die Unversehrtheit des Schultergelenkes.

Aus dem erstgenannten Grund war es nicht möglich von einem Individuum beide Schultergelenke zu entnehmen, so dass auf eine seitenvergleichende Untersuchung verzichtet werden muss.

Folgende Vorgehensweise wurde gewählt:

Nach scharfer Durchtrennung der Cutis und Subcutis wurde das gesamte Schultergelenk über der Scapula, dem proximalen Drittel des Humerus und der Clavicula freipräpariert. Nach Absetzen des Humerus im oberen proximalen Drittel und Durchtrennen der Muskulatur, die das Schultergelenk am Stamm fixiert, wurden die Scapula samt Humerusstumpf und Clavicula entnommen.

Nach der Entnahme wurden die Schultergelenke tiefgefroren und bei ca. - 20 °C aufbewahrt.

Um die Gelenke mit dem Ultraschall zu untersuchen, wurden sie bei Raumtemperatur schonend über 24 Stunden aufgetaut (Abb. 05).

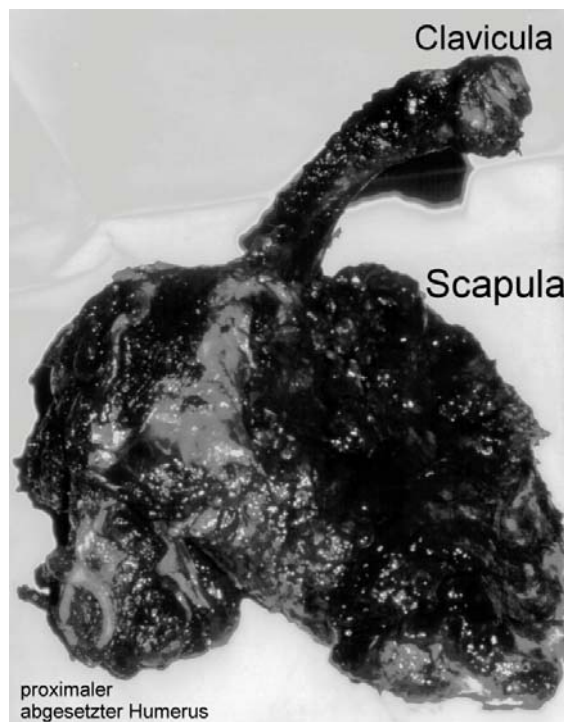


Abb. 05: Rechtes Schulterpräparat, aufgetaut
-Originalpräparat-

Nach der Ultraschalluntersuchung wurden die Schultergelenke in einer aufsteigenden Alkoholreihe konserviert. Diese begann mit 50 Vol. % Alkohol und wurde jeweils nach einer Woche um 10 Vol. % gesteigert, bis schließlich eine Konzentration von 96,9 Vol. % erreicht wurde. In diesem Alkoholbad verblieben die Schultergelenke bis zur weiteren Verwendung (Abb. 06).

So konserviert wurden alle Schultergelenke konventionell im ap. Strahlengang geröntgt.

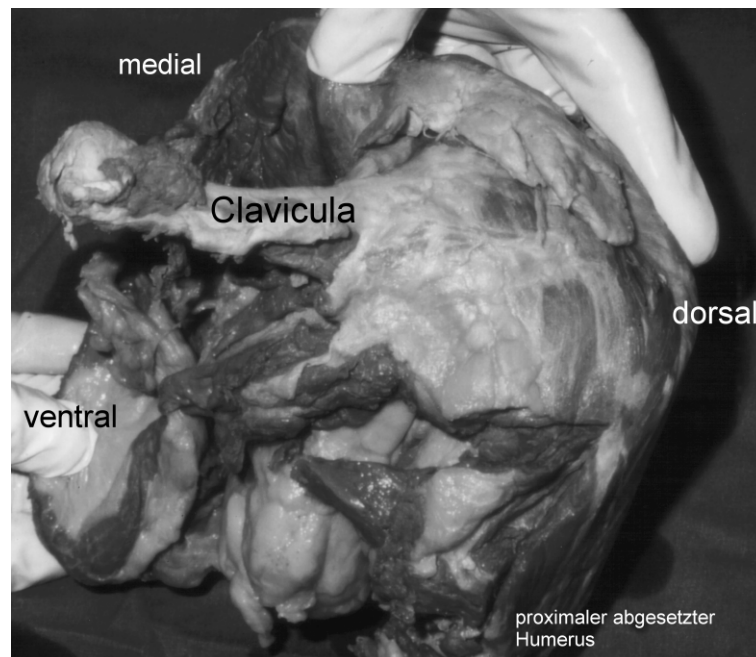


Abb. 06: Fixiertes linkes Schulterpräparat,
-Originalpräparat-

Um die Auflösung der kernspintomographischen Bilder zu optimieren und die Schultergelenke optimal in den Kunststoffharz einbetten zu können, wurden die Präparate kleiner gesägt. Die Schultergelenke wurden mit einer Bandsäge zersägt. Der mediale Teil der Scapula wurde unter Erhalt des Akromioklavikular - Gelenkes senkrecht abgetrennt. Der Humerusstumpf wurde nahe am Humeruskopf abgetrennt. Zuletzt erfolgte eine weitgehende Entfernung des axillären Fettgewebes. Für die Untersuchung nicht relevante Muskelanteile wurden ebenfalls entfernt (Abb. 07). So vorbereitet wurden alle Schultergelenke kernspintomographisch untersucht.

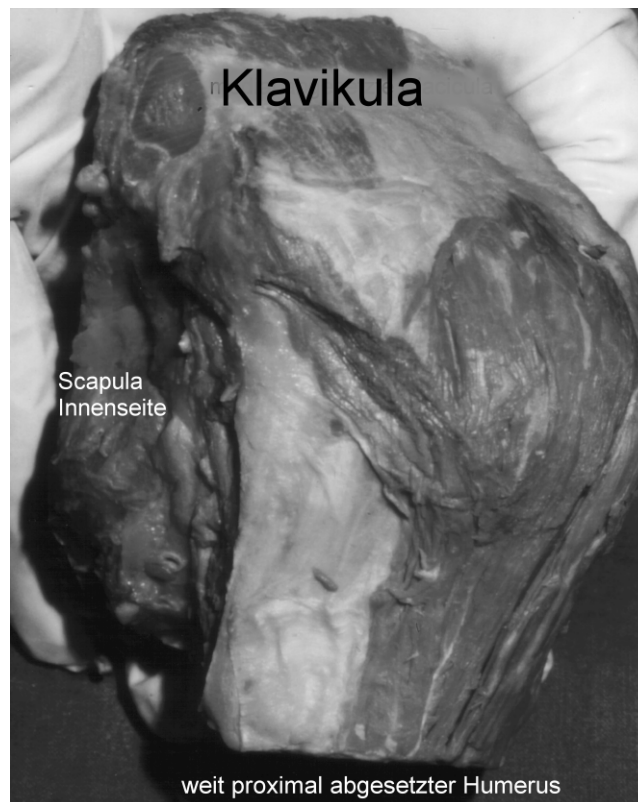


Abb.07: Fixiertes, kleiner gesägtes linkes Schulterpräparat
-Originalpräparat-

Nachdem die bildgebenden Untersuchungen abgeschlossen waren, wurden die Schultergelenke für mindestens eine Woche in ein Acetonbad verbracht, welches einmal erneuert wurde, um sie für die Kunstharzeinbettung vorzubereiten.

So vorbehandelt wurden die Schultergelenke plastiniert.

Anschließend wurden in definierten Ebenen planparallele Schnitte mit einer Schichtdicke von 1 mm angefertigt.

Um einer Verwerfung der Präparate entgegenzuwirken wurden sie aufeinander gepresst und bei Zimmertemperatur aufbewahrt.

04.3 Nativ - Röntgen

Alle Schultern wurden in toto geröntgt, also bevor sie kleiner gesägt wurden. Von den gebräuchlichen Einstellungen für Aufnahmen des Schultergelenks und der Scapula wählten wir den ventro - dorsalen Strahlengang.

Aufnahmen des Schultergelenks werden im Allgemeinen in Rückenlage angefertigt (06,36). Die Schultern wurden horizontal auf dem Röntgentisch gelagert, was der Rückenlage beim Menschen entspricht. Bei der gewählten Einstellung wurde ein Bild angestrebt, auf dem der Spalt zwischen cavitas glenoidale und medialem Humeruskopf frei einsehbar ist.

Durch die Lagerung der Präparate im Alkohol über einen längeren Zeitraum hinweg, waren die Gelenke nicht mehr beweglich, so dass auf Manipulationen wie Außen- oder Innenrotation verzichtet werden musste.

Um ein gleichmäßige, homogene Belichtung zu erzielen, wurde in den Strahlengang eine BLENDE eingebracht, welche die äußere, kraniale Region der Schulter abschirmte.

04.4 Sonographische Untersuchungen

Für die sonographische Untersuchung stand ein Gerät der Firma DORNIER zur Verfügung. Dies war mit einem hochauflösenden, wasserdichten 7,5 MHz Linear-Schallkopf ausgestattet.

Die Schultergelenke wurden im aufgetauten Zustand im Wasserbad sonographisch untersucht.

Dabei wurde darauf geachtet, dass sowohl das Schultergelenk als auch der Schallkopf vollständig vom Wasser umgeben waren. Auf die Anwendung einer Vorlaufstrecke konnte deshalb verzichtet werden. Um Artefakte durch verunreinigtes Wasser zu vermeiden, wurde das Wasserbad regelmäßig gewechselt (53).

In vier Standardeinstellungen wurden die Schultergelenke untersucht:

- Supraspinatussehne längst
- Infraspinatus längst
- Sulcus intertubercularis mit Bizepssehne quer
- Rotatorenmanschette quer

Bei allen Einstellungen wurde auf eine orthograde Ausrichtung des Schallkopfes zur darzustellenden Struktur geachtet (15).

Der Tiefenausgleich wurde so eingestellt, dass ausschließlich Echos aus einem relativ schmalen Bereich verstärkt wurden. Dieser Bereich konnte durch die Wahl des Abstandes des Schallkopfes zum Schultergelenk im Wasserbad gewählt werden.

Die Dokumentation der Bilder erfolgte mit einer Multiformatkamera auf Röntgenfilmen. Echoreiche Strukturen kamen hell und echoarme Strukturen dunkel zur Darstellung.

04.5 Kernspintomographische Untersuchung

Die kernspintomographische Untersuchung wurde mit einem 1.5 Tesla Magnetom der Firma SIEMENS durchgeführt.

Um die Masse zu erhöhen, wurde mit jedem Schulterpräparat ein 10 kg schweres Wasserphantom in den Tunnel eingefahren.

Bei Verwendung der Kopfspule erzielten wir die besten Ergebnisse. Mit der Oberflächenspule kam es zu einer deutlichen Signalabschwächung in den tieferen Schichten (Pat. Nr.: 20 / 21 / 22) (34). Bei geeigneten Konstruktionen kann man aber auch mit Oberflächenspulen detaillierte Bilder erhalten (05).

Alle Schultergelenke wurden in drei Standardeinstellungen untersucht.

- Supraspinatus längst
- Infraspinatus längst / Sulcus intertuberkularis quer
- Rotatorenmanschette quer

Für jede Einstellung wurden die Schultergelenke auf dem Untersuchungstisch neu gelagert. Auf diese Weise gelang es, die jeweils interessierenden Bereiche optimal zu erfassen.

Zunächst untersuchten wir die Schultergelenke in nicht verkleinerten Zustand, was zu Lasten der Auflösung ging. Die bereits verkleinerten Schultergelenke konnten mit einer hochauflösenden Matrix untersucht werden, was zu erheblich aussagekräftigeren Bildern führte. Dies wird an den Schultergelenken deutlich, die wir in beiden Größen untersucht haben (Pat. Nr.: 04 / 39 / 40).

Die Schultergelenke wurden in alkoholkonserviertem Zustand kernspintomographisch untersucht. Da der Alkohol den Schultergelenken das Wasser entzogen hatte (17)

waren nur bei T₂ - gewichteten Bildern gute Ergebnisse zu erzielen (12, 86).

Schultergelenke, die bereits in Aceton gelagert worden waren, führten erwartungsgemäß zu weniger aussagekräftigeren Bildern. Das Aceton löst das Fett aus dem Gewebe (Pat. Nr.: 38).

Keinerlei verwertbare Bilder entstehen, wenn man bereits einplastinierte Schultergelenke kernspintomographisch untersucht. Bekannt ist, dass tiefgefrorene Präparate keine aussagekräftigen Bilder ergeben (MELZER)(52). Die genannten Feststellungen müssen bei zukünftigen Versuchsplanungen berücksichtigt werden.

04.6 Einbettung und Schneidetechnik

Um die Schultergelenke in Kunststoff einzubetten (Plastination), musste ihr Volumen verkleinert werden. Durch diese Volumenreduzierung wurde sichergestellt, dass sich der Kunststoff beim Infiltrieren des Gewebes nicht zu stark erhitzte und aushärtete, bevor er das Präparat ganz durchdrungen hatte (07, 80).

Die Verkleinerung und Vorbehandlung mit Alkohol und Aceton erfolgte wie unter 04.1 beschrieben. Auf eine zusätzliche Entfettung mit Methylenchlorid wurde verzichtet.

So behandelt konnten die Schultergelenke mit dem Epoxidharz BIODUR™

E 12 und dem BIODUR™ Härter E 1 plastiniert werden.

Das verwendete Mischungsverhältnis betrug:

70 Anteile E 12 und 30 Anteile E 1.

Jedes Schultergelenk wurde einzeln in einen Behälter gelegt und mit Blei beschwert, um ein Aufschwimmen zu verhindern. Die Gewichte wurden vor dem Aushärten des Kunststoffes wieder entfernt.

In einer geeigneten Unterdruckkammer wurde den Präparaten mit einem Unterdruck von ca. 3 bar über ca. 8 Std. das Aceton entzogen. Der Unterdruck musste so eingestellt werden, dass es zu einer mittleren Blasenbildung (Verdampfen des Acetons) kommt (07,17, 80).

So wurde sichergestellt, dass die Schultergelenkpräparate vollständig von dem Harz durchdrungen wurden. Nachdem der Austausch des Acetons gegen den Kunstharz

vollzogen war, wurden die Blöcke im Brutkasten ausgehärtet.

Die so entstandenen Kunststoffblöcke hatten eine Größe von ca. 13 x 9 x 9 cm. Da der Kunststoff durchsichtig war, war eine Orientierung von außen leicht möglich.

Bei einigen Blöcken kam es zu einer vermehrten Blasenbildung. Dieses Phänomen trat auf, wenn die Unterdruckpumpe nicht in der Lage war, das Aceton vollständig zu eliminieren.

Bei erneuten Versuchsplanungen mit ähnlichen Bedingungen sollte darauf geachtet werden, dass eine leistungsfähige Unterdruckpumpe zur Anwendung kommt. Auch die Anzahl der Präparate ist so zu wählen, dass die verwendete Pumpe ein ausreichendes Vakuum erzeugen kann.



Abb. 08: Plastiniertes Schultergelenk

Mit dem (Abb. 09) wurden 1 mm dicke Präparate hergestellt. Die Säge verfügt über einen feinmechanischen Vorschub mit Skalierung, der Sägevorschub wurde mit Hilfe eines Gewichtes konstant gehalten. Es kamen diamantbeschichtete Sägeblätter zum Einsatz.

Die Dimension unserer Präparate erforderte ein spezielles Vorgehen. Um die von uns vorgegebenen Schnittebenen zu treffen, mussten wir den Säge Tisch mit zwei zusätzlichen Führungsschlitzen versehen. Um die Blöcke sicher einspannen zu können wurden sie mit einer Handbandsäge so zurechtgeschnitten, dass die Zwingen des automatischen Exact - Trennschleifsystem optimal befestigt werden konnten (Abb. 10).

Anhand der Ultraschallbilder legten wir die Schnittebene fest. Es wurde angestrebt, die Schultergelenke exakt in der Ebene zu schneiden, in der sie zuvor mit den bildgebenden Verfahren dargestellt wurden.

Nachdem die Blöcke vollständig geschnitten waren (Abb. 11) wurden die noch nassen Scheiben zwischen saugfähigem, doppelagigem Zellstoff gestapelt und unter Druck getrocknet. Um einen optimalen, planen Anpressdruck auf jede Scheibe ausüben zu können, legten wir zwischen jeden Schnitt eine Glasplatte (Abb. 12).

Nach zwei Tagen wurde der Zellstoff erneuert und nur noch einlagig verwendet. Die Anzahl der Glasscheiben wurde verringert, der Druck belassen.

So behandelt waren die Scheiben nach ca. vier Tagen getrocknet und nahezu plan (Abb. 13).

Die weitere Aufbewahrung erfolgte Idealerweise in den gleichen Behältnissen, die für die Platinierung verwendet wurden.

So wurde weiter Druck auf die Präparate ausgeübt und einer Verformung entgegengewirkt.

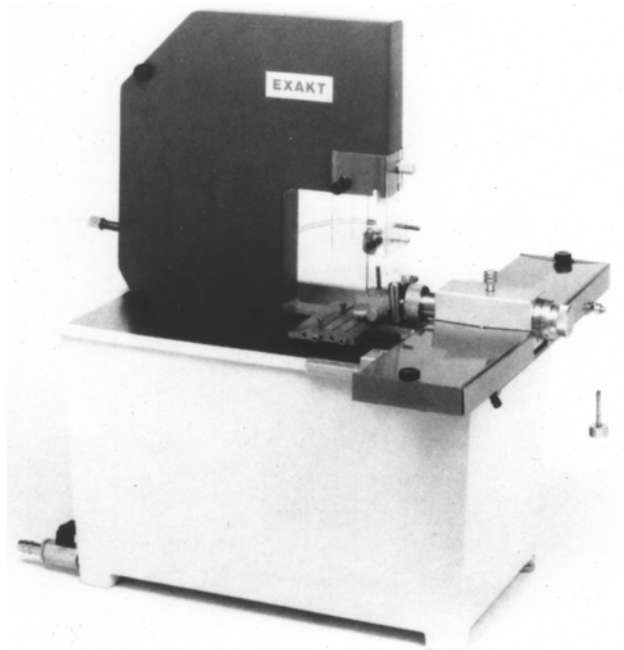


Abb. 09: Exakt - Bandsäge zur Herstellung planparalleler Schnitte

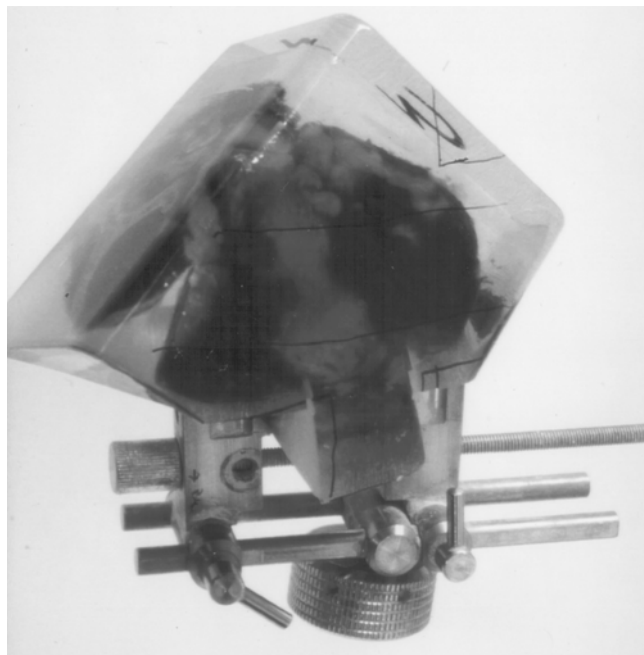


Abb. 10: Plastinierte Schulterpräparate zum planparallelen Sägen
vorbereitet und in die Halterung der Exakt - Säge eingespannt



Abb. 11 : Plastinierter und geschnittener Block

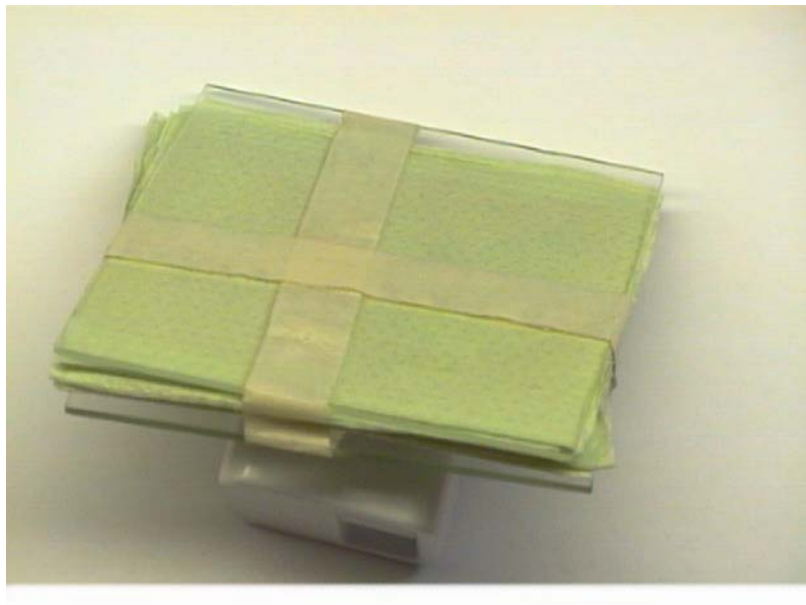


Abb. 12: Pressen der Schnitte zwischen Glasplatten, Papiertücher nehmen die Feuchtigkeit auf



Abb. 13: Sechzehn planparallele Schnitte eines Präparates

05. ERGEBNISSE

05.1. Nativ - Röntgen

Bei der radiologischen Darstellung der Schultergelenke fanden wir neben unauffällig erscheinenden Gelenken Veränderungen an den knöchernen Strukturen, sowie im Bereich der Sehnen und der Stellung der knöchernen Strukturen zueinander.

Bei der Beurteilung der knöchernen Strukturen wurde die Abbildung der Oberflächen sowie die Homogenität der Knochenstruktur bewertet.

Als Veränderungen imponierten Arrosionen und / oder Verdichtungen der Knochenstruktur, insbesondere im Ansatzbereich der Supraspinatussehne. Knochenappositionen kamen ebenfalls zur Darstellung.

Zur Beurteilung der Sehnenstruktur wurde auf Verkalkungen im Sehnenverlauf geachtet. Die Sehnen selbst kommen beim Nativ - Röntgen nicht zur Darstellung. Kalkeinlagerungen die sich radiologisch abbilden, entsprechen einer Tendinosis calcarea. Diese Veränderung ist als degenerativ zu bewerten. Sie muss keinen Krankheitswert haben und kann für den Betroffenen ohne Beschwerden sein.

Als Unregelmäßigkeiten wurde eine vermehrte subchondrale Sklerosierung und eine unscharfe Abbildung der Oberfläche gewertet.

Als zystische Veränderungen imponierten Homogenitätsunterschiede im Knochenbereich bei drei Präparaten.

Im Folgenden Beispiele für typische radiologische Befunde:



Abb. 14: Normalbefund



Abb. 15: Humeruskopfhochstand



Abb. 16: Reaktive knöcherne Veränderungen in der Sehnenansatzregion mit polytopen Verkalkungen



Abb. 17: Reaktive knöcherne Veränderungen in der Sehnenansatzregion



Abb. 18: Tendinosis calcarea im Bereich der Supraspinatus - Sehne



Abb. 19: Omarthrose

Bei fünfunddreißig nativ radiologisch untersuchten Schultern kamen acht (22,9 %) unauffällig zur Darstellung.

Der Anteil rechter Schultern betrug fünfundzwanzig (71,4 %), davon waren vier (bezogen auf die rechten Schultern = 16,0%) ohne erkennbare krankhafte Veränderung, entsprechend einundzwanzig (84,0%) mit auffälligen Veränderungen. Zehn linke Schultern wurden radiologisch untersucht, davon ebenfalls vier (bezogen auf die linken Schultern = 40,0%) ohne erkennbare krankhafte Veränderung, sechs (bezogen auf die linken Schultern = 60,0%) mit pathologischen Veränderungen.

Bei neun Schultern wurden mehrere Diagnosen gestellt (25,7 %) maximal vier verschiedene Veränderungen an einem Gelenk.

Als typische Veränderungen haben wir bei insgesamt zwanzig Schultern (57,1%) reaktive knöcherne Veränderungen der Sehnenansatzregion diagnostiziert. Diese Veränderung war die am häufigsten vorkommende (rechts 60,0 %, links 50,0 %).

Ein Humeruskopfhochstand bestand bei vier rechten Schultern (11,4 %).

Eine Arcromio - Clavicular - Gelenksarthrose bestand bei drei Schultern (8,6 %).

Bei zwei Schultern konnte radiologisch eine Tendinosis calcarea diagnostiziert werden (5,7 %).

Zeichen für eine Omarthrose bestanden bei einer (2,9 %) rechten Schulter.

Der Anteil der auffälligen Schultern war immer größer als der Anteil ohne pathologischen Befund.

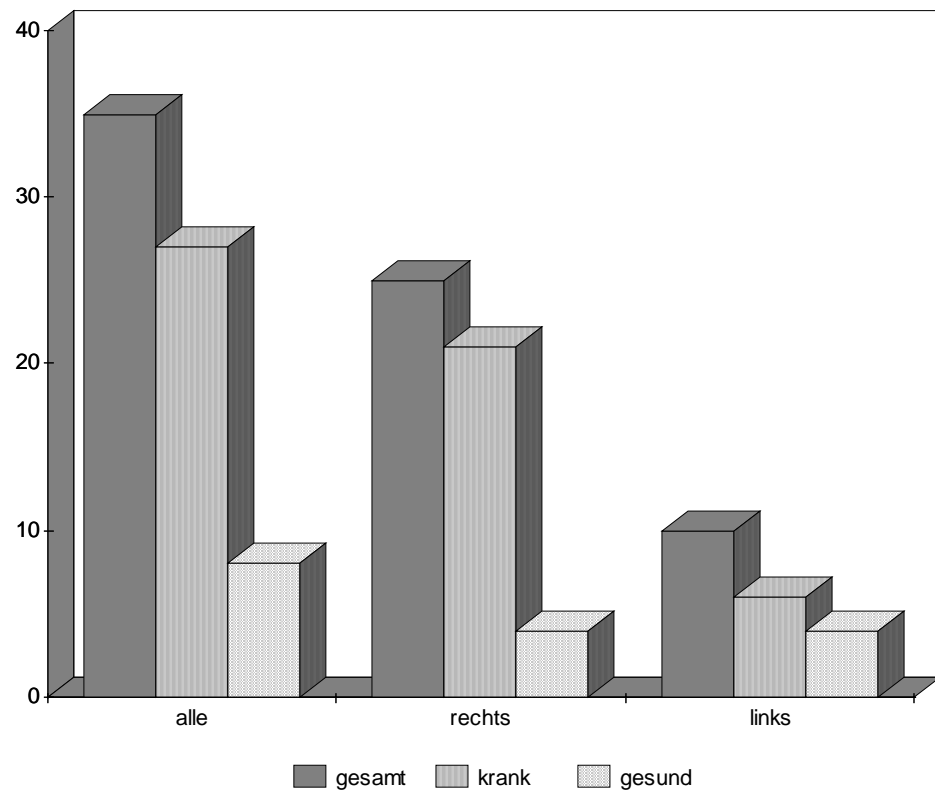


Abb. 20: Röntgenuntersuchung:
Darstellung der untersuchten Schultern mit und ohne pathologischen
Befund im Verhältnis zur Gesamtzahl

05.2 Sonographie

Neben dem sonographischen Bild der gesunden Sehnenstrukturen an der Schulter konnten wir bei zahlreichen Schultern pathologische Veränderungen nachweisen. Im Mittelpunkt der Untersuchung stand der Nachweis von degenerativen Veränderungen, die sonographisch unterschiedlich zur Darstellung kamen:

Degenerative Sehnenveränderungen stellten sich als echoarme oder als verdickte Struktur im Sehnenverlauf dar. Weiterhin galt ein Wechsel der Echogenität zwischen echoarmer und mittlerer Echogenität als Kriterium für degenerative Sehnenveränderungen.

Außerdem waren häufig Unregelmäßigkeiten im Ansatzbereich der Sehnen nachweisbar.

Seltener konnten Auffaserungen der Sehnenstruktur nachgewiesen werden. Diese stellten sich als Verdickung der Sehnenstruktur oder Inhomogenität dar.

Inkomplette und komplette Läsionen kamen durch eine Kontinuitätsunterbrechung der Sehnenstruktur oder durch die fehlende Darstellbarkeit zum Ausdruck.

Stark echogene Strukturen mit Schallschatten konnten in keinem Fall nachgewiesen werden. Dieses zu erwartende Phänomen hätte einer Tendinosis calcarea entsprochen.

Im Folgenden Beispiele für typische sonographische Befunde:



Abb. 21: Normalbefund Supraspinatussehne



Abb. 22: Normalbefund Infraspinatussehne



Abb. 23: Normalbefund Rotatorenmanschette im Querschnitt



Abb. 24: Normalbefund Bizepssehne



Abb. 25: Verbreiterung der Supraspinatussehne, Echogener Bereich, Arrosion

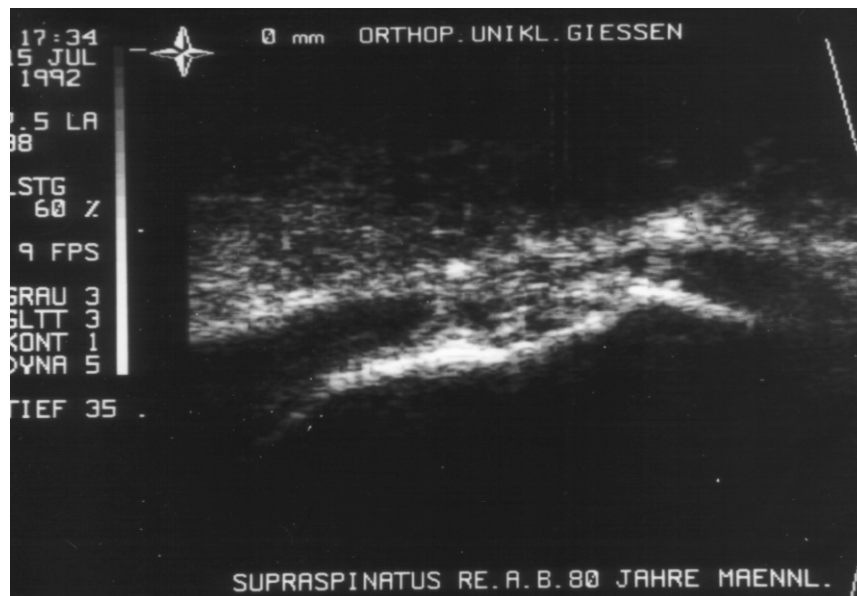


Abb. 26: Wechsel zwischen echoarmer und mittlerer Echogenität, Supraspinatussehne



Abb. 27: Echoarmes Areal im Sehnenansatz - Bereich



Abb. 28: Knöcherne Veränderungen im Sehnenansatzbereich



Abb. 29: Wechsel zwischen echoarmer- und mittlerer Echogenität der Rotatorenmanschette



Abb. 30: Unscharfe Begrenzung der Bizepssehnen - Oberfläche



Abb. 31: Ansatznahe Sehnenverbreiterung der Infraspinatussehne

Insgesamt wurden fünfunddreißig Schultergelenke untersucht. Sonographisch wurden alle vier Abschnitte geschallt die bei dieser Untersuchung zur Beurteilung in Frage kamen. Diese vier Abschnitte sind:

- Supraspinatussehne
- Infraspinatussehne
- Rotatorenmanschette im Querschnitt
- Bizepssehne

Aufgrund des sonographisch gewonnenen Eindrucks wurden die Schnittebenen für die Großflächenschnitte der Präparate festgelegt. Bei drei (8,6%) untersuchten Schultergelenken konnten keinerlei Besonderheiten in allen geschallten Abschnitten nachgewiesen werden. Sie erschienen sonographisch vollständig unauffällig (Abb.: 21, 22, 23, 24).

Der Anteil der insgesamt untersuchten rechten Schultern betrug fünfundzwanzig (71,4%) davon waren zwei (bezogen auf die rechten Schultern = 8,0%) ohne erkennbare krankhafte Veränderung, somit waren dreiundzwanzig (bezogen auf die

rechten Schultern = 92,0%) pathologisch verändert. Zehn linke Schultern wurden untersucht, davon eine (bezogen auf die linke Schultern = 10,0%) ebenfalls ohne krankhafte Veränderung, entsprechend neun (bezogen auf die linke Schultern = 90,0%) mit pathologischen Befunden.

Bei sechszwanzig (74,2%) Schultern wurden mehrere Diagnosen gestellt, maximal sechs Veränderungen (rechte Schulter) an einem Gelenk. Diese Veränderungen wurden an verschiedenen Schulterabschnitten diagnostiziert.

Im Durchschnitt wurden bei den rechten Schultern 2,76 pathologische Veränderungen diagnostiziert, an den linken Schultern 2,1 Veränderungen.

Am häufigsten wurde ein echoarmer Bereich im Verlauf der Sehne erkannt, insgesamt achtundzwanzig Mal, einundzwanzig Mal rechts, sieben Mal links.

Am zweithäufigsten, in siebzehn Fällen, wurde ein Wechsel zwischen armer und mittlerer Echogenität gesehen, elf mal rechts, sechs mal links.

In zehn Fällen wurden knöcherne Veränderungen im Ansatzbereich sonographisch diagnostiziert, ausschließlich an rechten Schultern.

Wurden mehrere Veränderungen erkannt, so war ein Wechsel zwischen echoarmer- und mittlerer Echogenität die am häufigsten genannte Veränderung.

Die Supraspinatussehne wurde im Längsschnitt häufig als pathologisch veränderte Struktur diagnostiziert.

In nur sieben (20%) Fällen von den insgesamt untersuchten fünfunddreißig Supraspinatussehnen wurde an der Sehne keine sonographische Auffälligkeit gesehen, somit waren bei den übrigen achtundzwanzig (80%) Fällen pathologische Veränderungen erkennbar.

Von den fünfzwanzig untersuchten rechten Supraspinatussehnen waren sechs (bezogen auf die rechten Schultern = 24,0%) gesund, somit neunzehn (bezogen auf die rechten Schultern = 76,0%) pathologisch verändert. Linksseitig wurden zehn Supraspinatussehnen untersucht, eine (bezogen auf die linken Schultern = 10,0%) war unauffällig, neun (bezogen auf die linken Schultern = 90,0%) waren pathologisch verändert.

An der Supraspinatussehne wurde am häufigsten ein echoarmer Bereich gesehen, insgesamt sechzehn (45,7%) mal.

Die Untersuchung der Rotatorenmanschette im Querschnitt führte zu folgenden Ergebnissen:

In dreizehn (39,4%) Fällen von den insgesamt im Querschnitt untersuchten dreiunddreißig Rotatorenmanschetten konnten keine Veränderungen verifiziert werden. Somit kamen bei den anderen zwanzig (60,6%) pathologische Veränderungen zur Darstellung.

Von den zweiundzwanzig quer untersuchten rechten Rotatorenmanschetten waren acht (bezogen auf die rechten Schultern = 36,4%) unauffällig, somit vierzehn (bezogen auf die rechten Schultern = 63,6%) pathologisch verändert. Linksseitig wurden zehn Rotatorenmanschetten quer untersucht, fünf (bezogen auf die linken Schultern = 50,0%) waren unverändert, fünf (bezogen auf die linken Schultern = 50,0%) waren pathologisch verändert.

Am häufigsten wurde ein Wechsel zwischen echoarmer - und mittlerer Echogenität im sehnigen Anteil der quer dargestellten Rotatorenmanschette festgestellt, insgesamt sieben (21,9%) mal.

Nachgewiesene pathologische Veränderungen an der Infraspinatussehne im Längsschnitt:

In sechzehn (47,1%) Fällen von den insgesamt untersuchten vierunddreißig Infraspinatussehnern konnten keine Veränderungen verifiziert werden. Somit waren bei den anderen achtzehn (52,9%) pathologische Veränderungen erkennbar.

Von den fünfundzwanzig untersuchten rechten Infraspinatussehnern waren elf (bezogen auf die rechten Schultern = 44,0%) unauffällig, somit vierzehn (bezogen auf die rechten Schultern = 56,0%) pathologisch verändert. Linksseitig wurden neun Infraspinatussehnern untersucht, fünf (bezogen auf die linken Schultern = 55,6%) unverändert, vier (bezogen auf die linken Schultern = 44,4%) pathologisch verändert. An der Infraspinatussehne wurde am häufigsten ein echoarmes Areal gesehen, insgesamt neun (26,5%) mal.

Nachgewiesene pathologischer Veränderungen an der Bizepssehne nehmen folgende Verteilung ein:

In einunddreißig (88,6%) Fällen von den insgesamt untersuchten fünfunddreißig Bizepssehnern konnten keine Veränderungen verifiziert werden. Somit waren bei den anderen vier (11,4%) pathologische Veränderungen erkennbar.

Von den fünfundzwanzig untersuchten rechten Bizepssehnen waren einundzwanzig (bezogen auf die rechten Schultern = 84,0%) unauffällig, somit vier (bezogen auf die rechten Schultern = 16,0%) pathologisch verändert. Linksseitig wurden zehn Bizepssehnen untersucht, alle ohne pathologischen Befund.

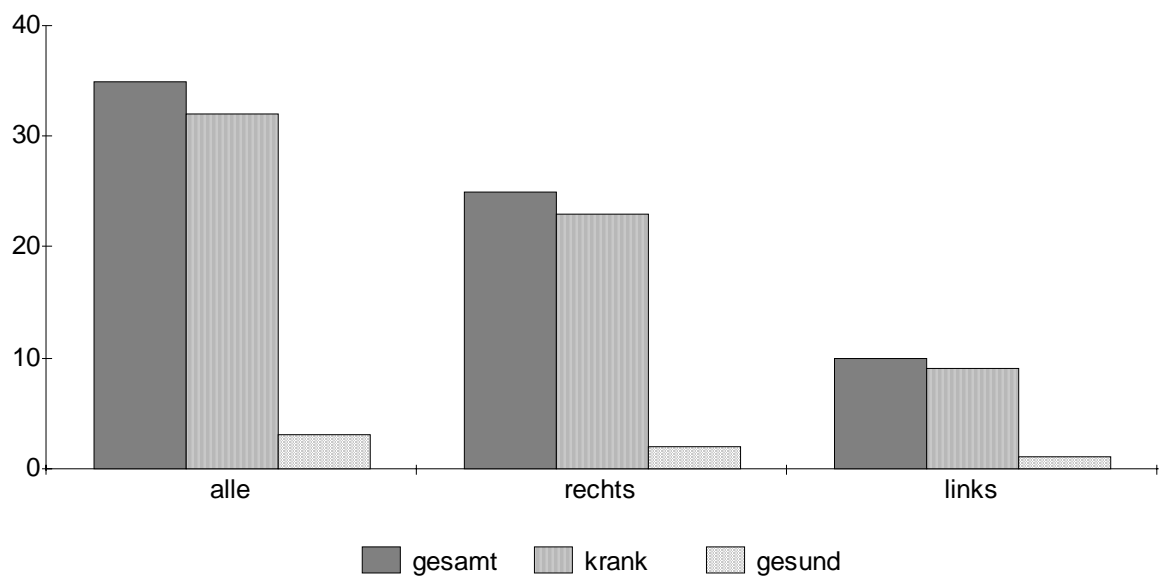


Abb. 32: Darstellung der sonographisch untersuchten Schultern mit und ohne pathologischen Befund im Verhältnis zur Gesamtzahl

05.3 Kernspintomographie

Auch kernspintomographisch konnten wir neben unauffällig erscheinenden Schulterpräparaten zahlreiche pathologische Veränderungen nachweisen.

Folgende typische Veränderungen konnten bei degenerativ veränderten Schultern dargestellt werden:

Am häufigsten wurde eine Sehnenaufquellung, meist ansatznah, gefunden.

Neben Verdickungen der Sehnenstruktur kamen auch Veränderungen der Knochenoberfläche in Form von unscharfer, rauer Oberfläche im Sehnenansatzbereich zur Darstellung.

Verdünnungen der Sehnenstruktur ließen eine inkomplette Ruptur vermuten.

Kamen die Sehnen gar nicht zur Darstellung sprach dies für ausgeprägte degenerative Veränderungen oder eine Ruptur.

Im Folgenden werden typische kernspintomographische Bilder demonstriert:



Abb. 33: Normalbefund Supraspinatussehne



Abb. 34: Normalbefund Infraspinatussehne

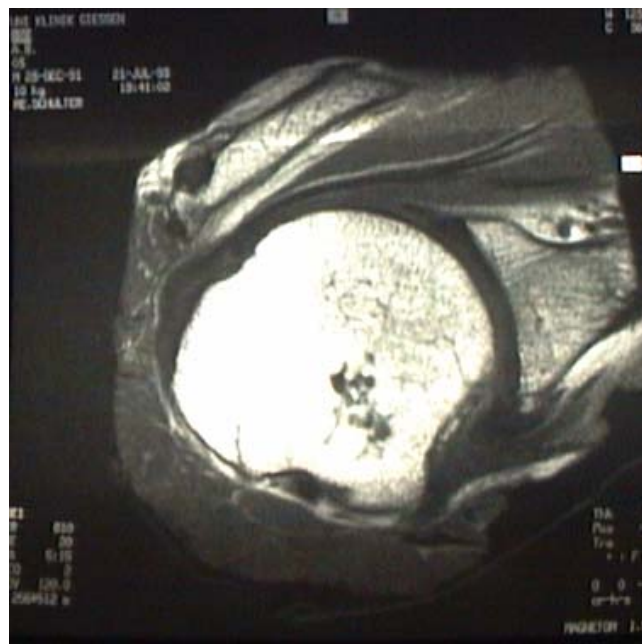


Abb. 35: Aufquellung im Ansatzbereich der Supraspinatussehne



Abb. 36: Aufquellung im Ansatzbereich der Infrapinatussehne



Abb. 37: Auffaserung und reaktive Ansatzveränderungen der Suprapinatussehne



Abb. 38: Auffaserung der Infraspinatussehne

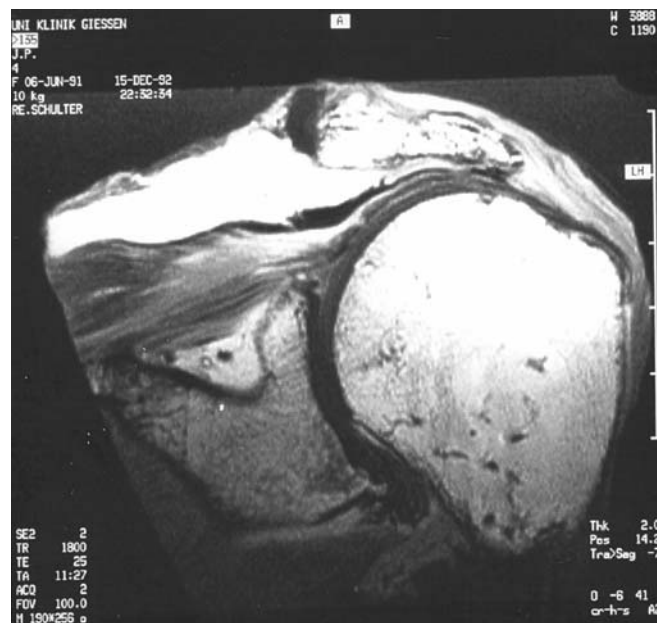


Abb. 39: Ausdünnung der Supraspinatussehne, Humeruskopfhochstand



Abb. 40: Infraspinatussehne nicht abgrenzbar, rupturiert



Abb. 41: Normalbefund Rotatorenmanschette im Querschnitt

Bei allen fünfunddreißig untersuchten Schultern wurde nur bei vier (11,4%) Präparaten kein pathologischer Befund erhoben. Somit waren einunddreißig (88,6%) Schultergelenke mit mindestens einem pathologischen Befund auffällig.

Der Anteil rechter Schultern betrug fünfundzwanzig (71,4 %), davon waren drei (bezogen auf die rechten Schultern = 12,0%) ohne krankhafte Veränderung, somit zweiundzwanzig (bezogen auf die rechten Schultern = 88,0) pathologisch verändert. Es wurden zehn linke Schultern kernspintomographisch untersucht, davon zwei (bezogen auf die linken Schultern = 20,0%) ohne erkennbare krankhafte Veränderung, somit acht (bezogen auf die linken Schultern = 80,0%) pathologisch verändert.

Es wurden bei achtundzwanzig (80,0%) Schultern mehr als eine pathologische Veränderung beschrieben, maximal fünf Veränderungen pro Gelenk. Diese Veränderungen betrafen unterschiedliche Gelenk - Abschnitte.

Im Durchschnitt wurden an den rechten Schultern 2,78 pathologische Befunde und an den linken 1,5 pathologische Veränderungen diagnostiziert; insgesamt 2,46.

Bei drei (8,6 %) Schultern wurde eine von den untersuchten vier Sehnen und bei zwei (5,7%) Schultern zwei Sehnen im Verlauf nicht korrekt abgebildet.

Am häufigsten wurde eine Verbreiterung bzw. Auftreibung der Sehnen beschrieben. Bei den fünfunddreißig untersuchten Schultern wurde insgesamt an sechsundzwanzig Sehnen diese Veränderung zum Teil auch an mehreren Sehnen festgestellt, hievon waren zwölf rechte und acht linke Schultern betroffen.

Die am zweithäufigsten festgestellten Auffälligkeiten waren Veränderungen im Ansatzbereich der Rotatorenmanschette. Dieser Befund wurde insgesamt bei acht Schultern, sechs rechten und fünf linken festgestellt.

In nur acht (22,9%) Fällen von den insgesamt untersuchten fünfunddreißig Supraspinatussehnen ergab sich kernspintomographisch ein Normalbefund, somit waren bei den übrigen siebenundzwanzig (77,1%) Fällen pathologische Veränderungen erkennbar. Von den fünfundzwanzig untersuchten rechten Supraspinatussehnen waren sechs (bezogen auf die rechten Schultern = 24,0%) unauffällig, somit neunzehn (bezogen auf die rechten Schultern = 76,0% pathologisch verändert. Linksseitig wurden zehn Supraspinatussehnen untersucht,

zwei (bezogen auf die linken Schultern = 20,0%) unauffällig, acht (bezogen auf die linken Schultern = 80,0%) pathologisch verändert.

Die Infraspinatussehne war in zehn (30,3%) Fällen bei insgesamt dreiunddreißig untersuchten Infraspinatussehnern unauffällig, damit zeigten dreiundzwanzig (69,7%) pathologische Veränderungen. Von den vierundzwanzig untersuchten rechten Schultern waren sieben (bezogen auf die rechten Schultern = 29,2%) unauffällig, somit siebzehn (bezogen auf die rechten Schultern = 70,8%) pathologisch verändert. Linksseitig wurden neun Infraspinatussehnern untersucht, drei (33,3%) waren unauffällig, sechs (66,7%) zeigten krankhafte Veränderungen.

Die Rotatorenmanschette in der Querschnitt - Darstellung war in siebzehn (51,5%) bei dreiunddreißig untersuchten Schultergelenken unauffällig, somit bei sechzehn (48,5%) pathologisch verändert. Von den vierundzwanzig untersuchten rechten Schultergelenken waren zwölf (bezogen auf die rechten Schultern = 50,0%) auffällig bzw. pathologisch verändert. Linksseitig wurden neun Präparate auswertbar kernspintomographisch untersucht, fünf (bezogen auf die linken Schultern = 55,6%) kamen unauffällig zur Darstellung, vier (bezogen auf die linken Schultern = 44,4%) dagegen zeigten Auffälligkeiten.

Die lange Bizepssehne war in zweiunddreißig Fällen beurteilbar, dreißig (93,8%) mal unauffällig, bei zwei (bezogen auf die rechten Schultern = 8,3%) rechten Schultern zeigten sich pathologische Veränderungen. Im Bereich von linken Schultern konnten acht Befunde vorgenommen werden, alle ohne pathologischen Befund (bezogen auf die linken Schultern = 100%).

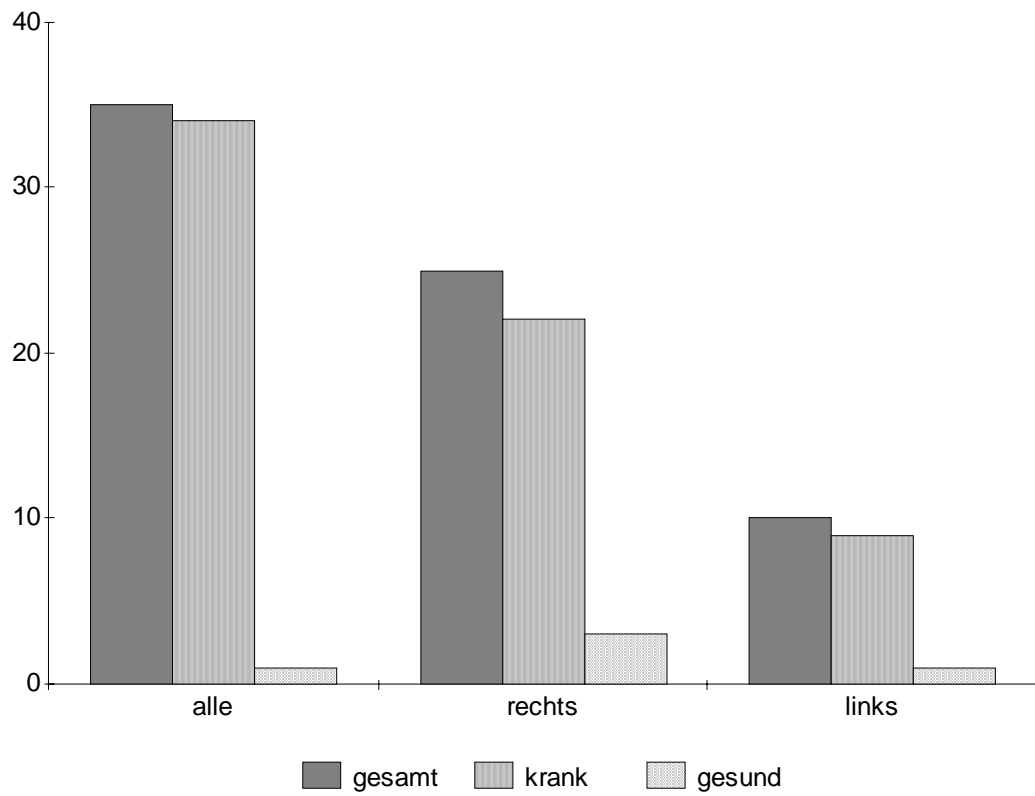


Abb. 42: Darstellung der kernspintomographisch untersuchten Schultern mit und ohne pathologischen Befund im Verhältnis zur Gesamtzahl

05.4 MORPHOLOGISCHE BEFUNDE

Von den plastinierten Schultergelenken wurden Großflächenschnitte hergestellt.

Die Befundung der einzelnen Schnitte erfolgte ohne Hilfsmittel wie Lupe oder Aufsichtsmikroskop.

Verschiedene Beleuchtung, wie Gegenlicht, Hintergrundbeleuchtung bzw. Durchleuchtung (Diaphanoskopie) erwies sich nicht als hilfreich und wurde nicht angewandt.

Die angefertigten Schnittpräparate waren von einwandfreier Qualität, so dass bei der Beurteilung keine Artefakte berücksichtigt werden mussten. Bei Lufteinschlüssen mit Blasenbildung, Zerfallen der Schnittpräparate, Verfärbungen oder präparationsbedingtes Zerreißen der Strukturen hätte die Bewertung nur eingeschränkt durchgeführt werden können. Alle diese möglichen Probleme traten nicht auf. Durch die spezielle schonende Trocknung und Lagerung unter Druck entstand eine zu vernachlässigende Verwerfung der Schnitt - Präparate.

Im Folgenden typische Großflächenschnitte:

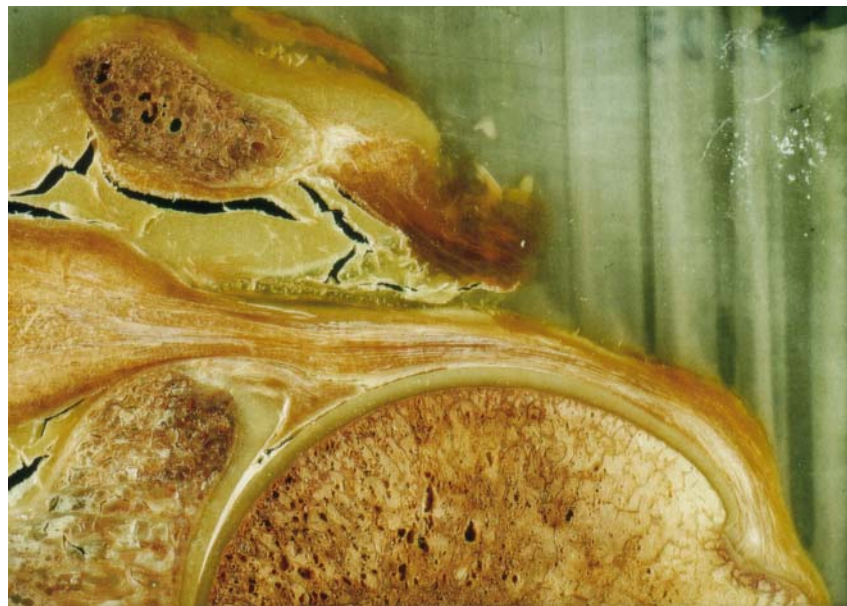


Abb. 43: Supraspinatussehne, Ansatzbereich, Normalbefund

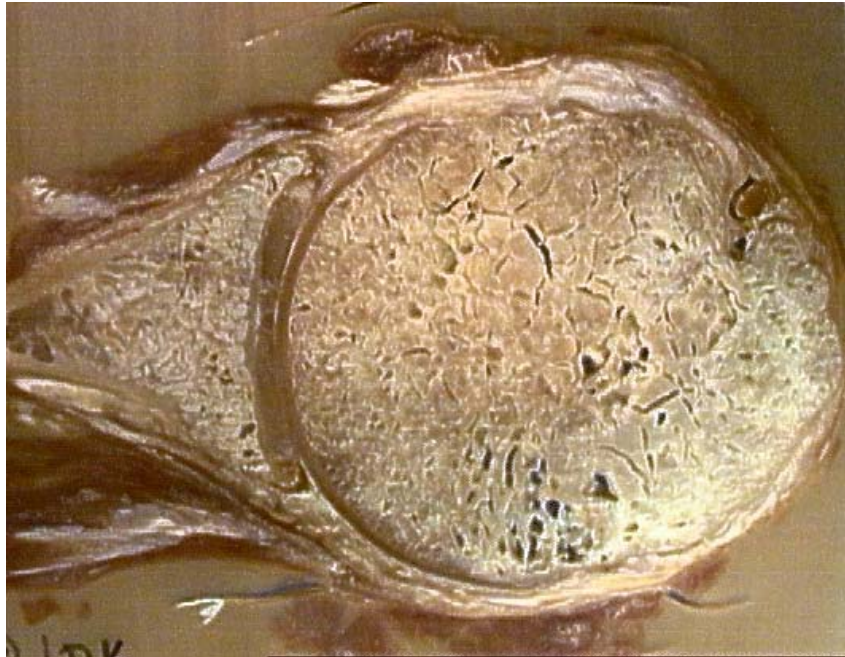


Abb. 44: Infraspinatussehne, Ansatzbereich, Normalbefund

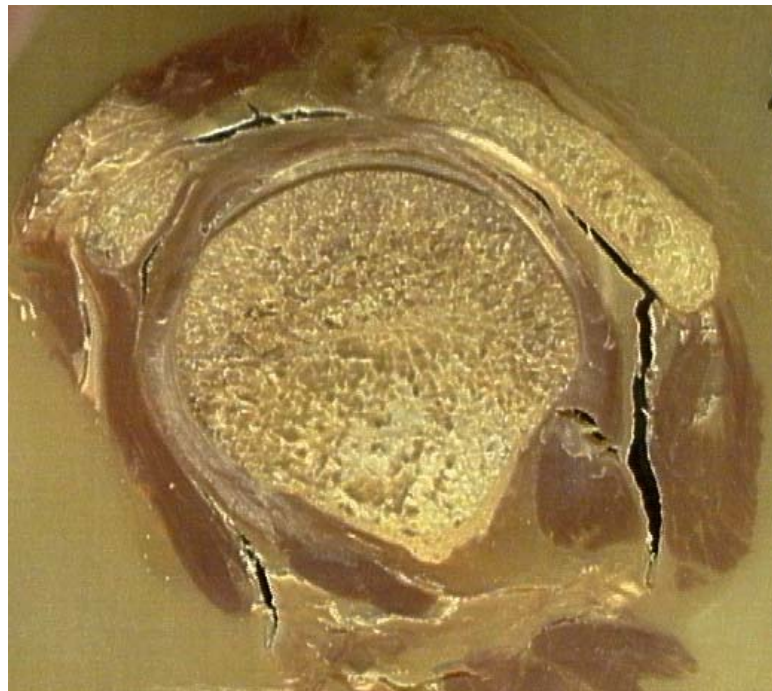


Abb. 45: Rotatorenmanschette im Querschnitt, Normalbefund

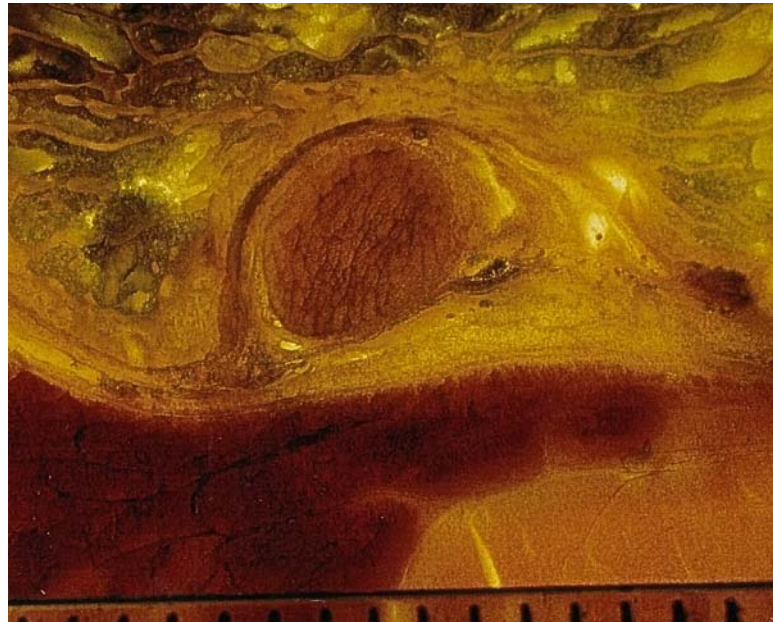


Abb. 46: Normalbefund Bizepssehne (Nahaufnahme)

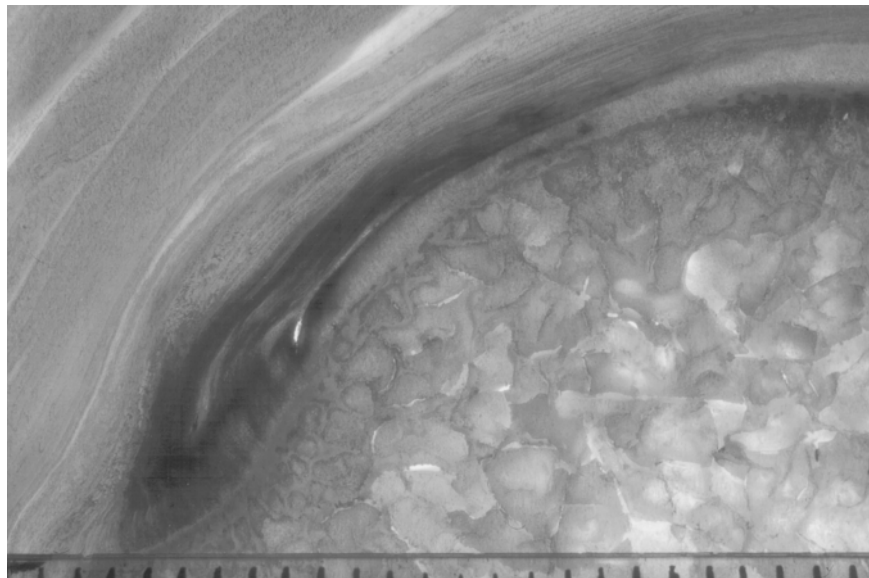


Abb. 47: Ansatznahe Aufquellung der Supraspinatussehne

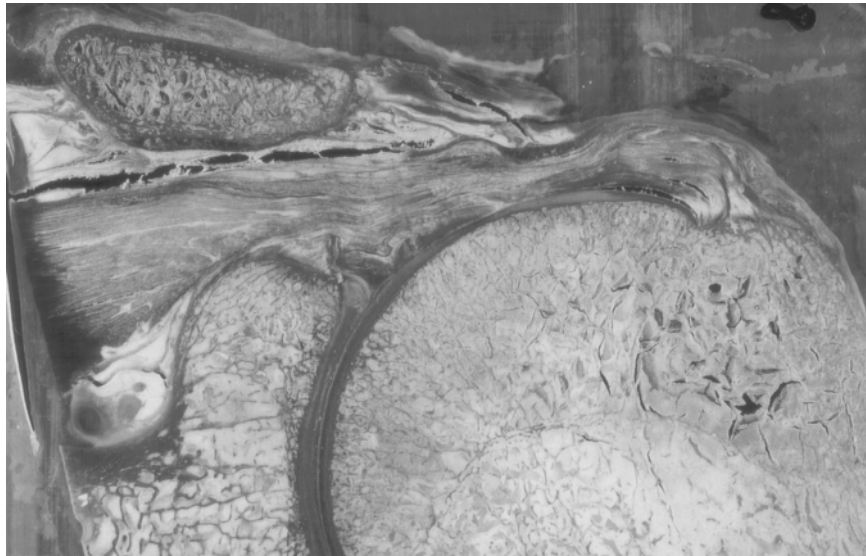


Abb. 48: Ansatznahe Auftreibung der Supraspinatussehne, Kalkformation an der Oberfläche , Auffaserung, Knochenappositionen



Abb. 49: Ausdünnung der Supraspinatussehne

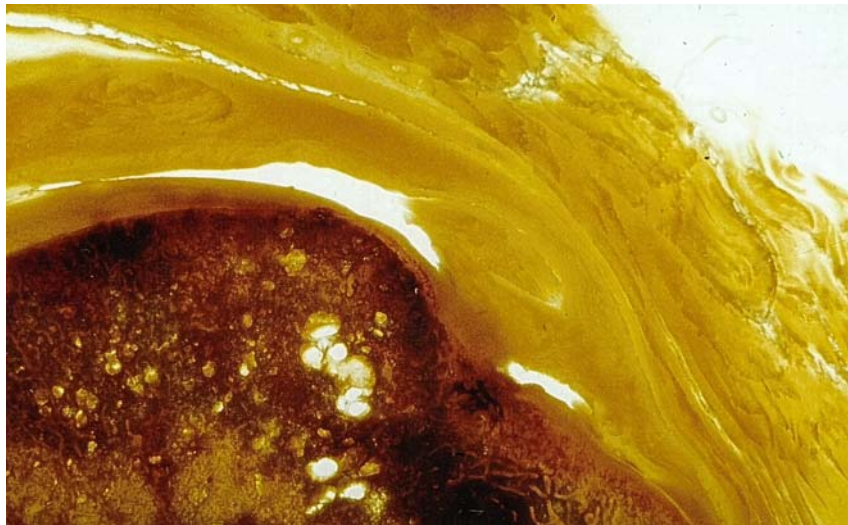


Abb. 50: Inkomplette Ruptur der Supraspinatussehne



Abb. 51: Inkomplette Ruptur der Supraspinatussehne mit reaktiven knöchernen Veränderungen



Abb. 52: Komplette Kontinuitätsunterbrechung der Supraspinatussehne, mit Sehnenretraktion



Abb. 53: Auftreibung der Infraspinatussehne. Unauffällige Bizepssehne

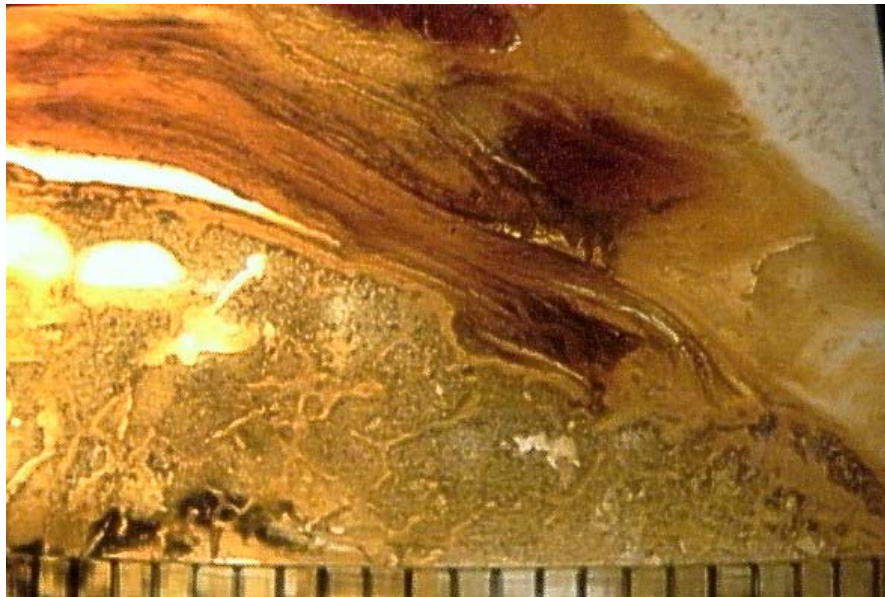


Abb. 54: Reaktive knöcherne Veränderungen und Auffaserung der Infraspinatussehne, Nahaufnahme

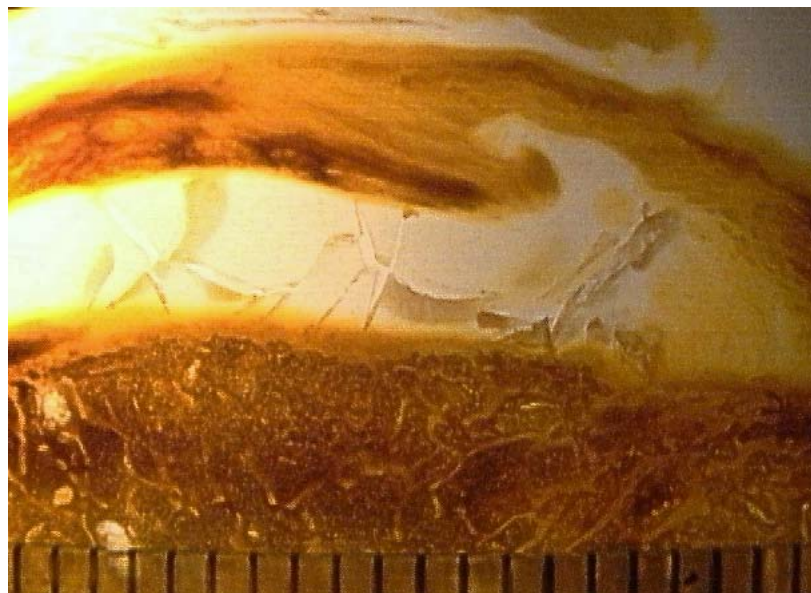


Abb. 55: Auffaserung der Supraspinatussehne

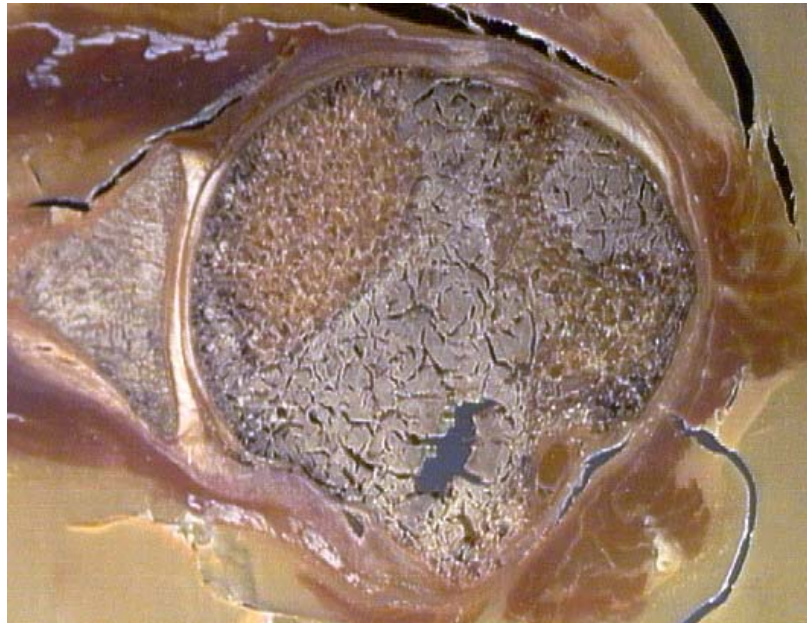


Abb. 56: Unregelmäßigkeiten im Infraspinatussehnen -Verlauf

Nach erfolgter Befundung der Röntgenaufnahmen und der Ultraschallbilder wurde aufgrund des sonographisch gewonnenen Eindrucks die Schnittebene für den Großflächenschnitt festgelegt. Im Gegensatz zur Ultraschalluntersuchung und zur Kernspintomographie konnten die Präparate nicht in verschiedenen Ebenen untersucht werden. Die Festlegung der Schnittebene war an keine Bedingungen geknüpft oder an ein System gekoppelt. Auf diese Weise entstand eine zufällige Auswahl.

Bei der Beurteilung wurden die Großflächenschnitte beschrieben. Es wurden die Sehnen auf ihre Kontinuität und auf ihre Stärke beurteilt. Die Struktur der Sehne und ihre Umgebung an den Insertionsstellen wurden beurteilt.

Es konnten folgende Beurteilungskriterien abgeleitet werden:

- Unauffälliger Befund
- Auffaserung der Sehne
- Inkomplette Ruptur der Sehne
- Komplette Ruptur der Sehne
- Verbreiterung der Sehne
- Verdünnung der Sehne

- Tendinosis calcarea
- Mikro - Verkalkungen
- Reaktive knöcherne Veränderungen der Sehnenansatzregion

Insgesamt wurden fünfunddreißig plastinierte Schultergelenke in Scheiben geschnitten. Alle waren zuvor mit den drei o. g. Untersuchungsmethoden untersucht und beurteilt worden.

Die Schnittebene wurde fünfzehn Mal so gelegt, dass die Supraspinatussehne im Längsschnitt zur Darstellung kam. In drei (bezogen auf die Supraspinatussehnen = 20,0 %) so untersuchten Gelenken konnten keine Besonderheiten gefunden werden. Somit wurden an zwölf (bezogen auf die Supraspinatussehnen = 80,0%) Supraspinatussehnen pathologische Veränderungen diagnostiziert.

Der Anteil der rechten Schultern betrug elf (73,3%), linke Supraspinatussehnen vier (26,7%). Die drei unauffälligen Befunde wurden ausschließlich an rechten Schultern festgestellt.

Die am häufigsten beschriebene Veränderung an der Supraspinatussehne war der Nachweis von echoarmen Arealen. In zehn (66,7 %) von fünfzehn Fällen wurden echoarme Formationen an der Supraspinatussehne gesehen.

In insgesamt sieben (46,7%) Fällen konnten inkomplette und komplette Kontinuitätsunterbrechungen an der Sehne festgestellt werden. Für die rechten Schultern ergab sich ein Anteil von drei (bezogen auf die rechten Schultern = 27,3%). An allen vier linken Schultern zeigten sich Supraspinatussehnen-Rupturen.

An drei (20,0%) Präparaten zeigten sich Verbreiterungen der Supraspinatussehne.

In fünf (41,7%) von insgesamt zwölf untersuchten Infrapinatussehnen konnten keine Veränderungen gefunden werden, somit waren sieben (58,3%) pathologisch verändert.

Unauffällig waren fünf rechte Infrapinatussehnen. Die zwei linken untersuchten Infrapinatussehnen wiesen beide Auffälligkeiten (Verbreiterungen der Sehne und reaktive knöcherne Veränderungen der Sehnenansatzregion) auf.

Vier (36,4%) mal und somit die am häufigsten festgestellte Veränderung bestand in einer reaktiven knöchernen Veränderung der Sehnenansatzregion.

Es standen vier rechte und vier linke im Querschnitt untersuchte Schultern zur Verfügung. Die Verteilung der gesunden und auffälligen Sehnenstrukturen war rechts und links gleich.

In vier (50,0%) von insgesamt acht untersuchten Rotatorenmanschetten konnten keine Veränderungen nachgewiesen werden, entsprechend waren vier (50,0) pathologisch verändert.

Es zeigte sich bei einer rechten Schulter eine komplette Ruptur, bei einer weiteren eine Auffaserung der Sehnenstruktur. Bei den beiden linken Schultern konnten wir in einem Fall reaktive knöcherne Veränderungen im Bereich der Sehnenansatzregion erkennen, in dem anderen Fall handelte es sich um komplexe Veränderungen mit inkompletter Ruptur der Sehnen, Auffälligkeiten der Bursa und reaktiven knöcherne Veränderungen im Bereich der Sehnenansatzregion.

Die Bizepssehne konnte bei der Längsschnitt - Darstellung der Infrapinatussehne mit beurteilt werden. Insgesamt konnten bei zwölf Bizepssehnern am makroskopischen Präparat Befundungen vorgenommen werden.

Aufgrund der Versuchsanordnung wurden alle Bizepssehnern quer geschnitten.

An neun (75,0%) von zwölf untersuchten Bizepssehnern wurde kein pathologischer Befund erhoben.

Bei den drei erkannten Veränderungen handelte es sich in allen Fällen um rechte Schultern mit Auffaserungen der Sehnen.

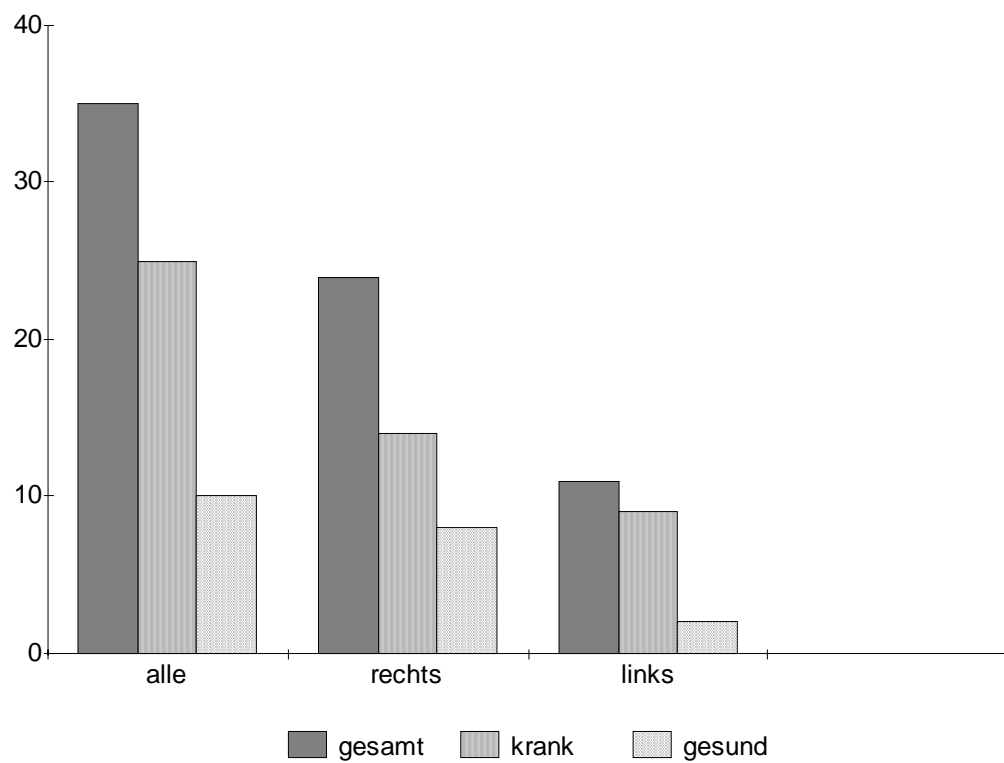


Abb. 57: Großflächenschnitte der untersuchten Schultern mit und ohne pathologischen Befund im Verhältnis zur Gesamtzahl

06. BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

6.1 Vergleich zwischen bildgebenden und morphologischen Befunden

Ziel der vorgelegten Arbeit ist es, Befunde, die durch bildgebende Untersuchungsverfahren wie Röntgen, Ultraschall und Kernspin erhoben wurden makroskopisch zu überprüfen.

Der makroskopisch am Großflächenschnitt erhobene Befund stellte für uns den Standard dar. Die hier getroffene Diagnose gilt als zutreffend. Wir gehen davon aus, dass die Beurteilung des makroskopischen Präparates keinen Verfälschungen unterliegt. Eine Kontrolle durch klinische Angaben zum Beschwerdebild des betroffenen Individuums ist nicht erfolgt. Diese erweiterte Kontrollebene war aufgrund der Versuchsanordnung nicht möglich, die Präparate wurden nach dem Zufallsprinzip gewonnen.

Bei der Versuchsanordnung war es möglich, Ergebnisse der bildgebenden Verfahren direkt mit dem morphologischen Befund zu vergleichen.

Zunächst wurden die radiologisch, sonographisch und kernspintomographisch gewonnenen Bilder befundet. Dabei wurde bewusst auf einen Vergleich mit den Ergebnissen der anderen Untersuchungsverfahren verzichtet, um eine Beeinflussung zu vermeiden. Jede Befundung ist in Unkenntnis der anderen Untersuchungsergebnisse entstanden.

Für die Befundung wurden keine Formulierungen vorgegeben, die Befundung erfolgte in der Art und Weise, wie sie im täglichen Klinikalltag vorgenommen wird.

Dieser Weg wurde bewusst gewählt, um den Diagnostiker nicht in seiner Interpretation der Bilder zu beeinflussen oder einzuschränken.

Die dadurch entstandene Beurteilung wurde für die Auswertung auf ihre Grundaussage überprüft, insbesondere unter der Fragestellung, ob es sich um degenerative Veränderungen handelte. Bestimmte immer wieder auftretende Formulierungen wurden für die Auswertung berücksichtigt.

Erst als alle Präparate mit allen vier Untersuchungsmethoden befundet waren, wurden die Ergebnisse miteinander verglichen. Unpräzise Befundungen wurden als nicht erhoben angesehen und wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Auf Nativ - Röntgenaufnahmen lassen sich folgende pathologische Veränderungen erkennen:

- Kalkeinlagerungen in der Sehne (Tendinosis calcarea)
- Reaktive knöcherne Veränderungen der Sehnenansatzregion
- Humeruskopfhochstand
- Omarthrose

Verschiedene sonographische Kriterien sind Ausdruck degenerativer Veränderungen im sehnigen Anteil der Rotatorenmanschette:

- Auffaserung der Sehnenstruktur
- Unregelmäßigkeiten
- Verbreiterung der Sehne
- Echoarmer Bezirk
- Echoreicher Bezirk
- Wechsel zwischen echoarmer und mittlerer Echogenität
- Kalibersprünge
- Konkave Einsenkung

Bei folgenden Befunden kann sogar von einer Ruptur der Sehne ausgegangen werden:

- fehlende Darstellbarkeit der Sehne
- Kontinuitätsunterbrechung
- zentrales echogenes Band

Zu den kernspintomographischen Kriterien degenerativ veränderter Sehnenstrukturen zählen:

- Auffaserung der Sehne
- irreguläre Sehnenstruktur
- Verbreiterung / Aufquellung
- Verdünnung der Sehne
- Ansatzveränderungen

Für eine Ruptur sprechen folgende Befunde:

- Fehlende Abgrenzbarkeit der Sehne

- Konturunterbrechung
- Kalibersprung

Nachdem die Befundung abgeschlossen war, wurden die Ergebnisse mit den Beurteilungen der Großflächenschnitte verglichen.

Im Vergleich zu den Großflächenschnitten wurden die statistischen Parameter Sensitivität, Spezifität und Gesamtgenauigkeit für die Sonographie und die Kernspintomographie ermittelt.

Sensitivität = $\frac{\text{Anzahl der richtig-positiven (kranken) Fälle}}{\text{Gesamtzahl der positiven (kranken) Fälle}}$

Spezifität = $\frac{\text{Anzahl der richtig-negativen (gesunden) Fälle}}{\text{Gesamtzahl der negativen (gesunden) Fälle}}$

Gesamtgenauigkeit = $\frac{\text{Anzahl der richtig-positiven (kranken) Fälle} + \text{Anzahl der richtig-negativen (gesunden) Fälle}}{\text{Gesamtzahl der negativen (gesunden) und positiven (kranken) Fälle}}$

06.2 Vergleich zwischen Nativ - Röntgen und morphologischen Befunden

Nicht immer sind die Ergebnisse der Röntgenuntersuchung mit denen der Schnittpräparate vergleichbar. Wurde die Schnittführung so gewählt, dass die Rotatorenmanschette im Querschnitt dargestellt wurde, verläuft der Strahlengang rechtwinklig zur Schnittebene. Ein Vergleich ist deshalb nicht möglich.

Dies war bei acht Präparaten, vier rechten und vier linken der Fall.

In drei Röntgenaufnahmen konnten am caudalen Labrum Verkalkungen nachgewiesen werden. Diese waren in den Großflächenschnitten nicht erkennbar. Bei einem Präparat wurde ein Limbusdefekt beschrieben

Bei drei Röntgenbildern wurden Verkalkungen diagnostiziert, diese konnten auch im Großflächenschnitt nachgewiesen werden.

Im ersten Fall liegt eine ansatznahe Sehnenverbreiterung vor, bei einem weiteren Präparat kamen intratendinöse Strukturauflockerungen zur Darstellung und bei dem dritten ist eine inkomplette Läsion nachweisbar.

06.3 Vergleich zwischen Sonographie und morphologischen Befunden

Degenerative Veränderungen können sich sonographisch in unterschiedlicher Weise darstellen.

Drei Präparate, zwei rechte und ein linkes Schultergelenk, erschienen im Ultraschall völlig unauffällig. Diese Untersuchungsbefunde wurden im Großflächenschnitt bestätigt, nur bei einem Präparat kamen nebenbefundlich Veränderungen am oberen Labrum glenoidale zur Darstellung. Bei der Sonographie wurde keine Beurteilung dieser Struktur vorgenommen. Die Schnittebenen im Großflächenschnitt verliefen bei den rechten Schultern ein Mal in der Supraspinatus- und ein Mal in der Infrapinatussebene. Beim linken Schultergelenk erfolgte die morphologische Darstellung der Rotatorenmanschette im Querschnitt.

Im Verlauf der Infrapinatussehne wurden von zwölf Schultern Schnittpräparate angefertigt. Bei vier Schultern wurden im Ultraschall keine pathologischen Veränderungen an der Infrapinatussehne festgestellt. Dieses Untersuchungsergebnis wurde in drei Fällen bestätigt und bei einem weiteren Präparat konnte makroskopisch eine ansatznahe Verdickung der Infrapinatussehne nachgewiesen werden.

Bei acht Schultern fanden sich sonographisch Auffälligkeiten, diese korrelierten in sechs Fällen mit dem morphologischen Befund. Bei einem der falsch positiven konnte die Schnittebene nicht exakt zugeordnet werden, somit ist in diesem Fall kein Vergleich möglich.

Die Supraspinatussehne wurde fünfzehn Mal im Großflächenschnitt untersucht. Nur bei zwei Schultern wurden sonographisch keine Veränderungen nachgewiesen. Beide Untersuchungsergebnisse wurden makroskopisch bestätigt.

Bei den übrigen dreizehn sonographisch als pathologisch identifizierten Schultern wurde dieses Ergebnis in zwölf Fällen am Großflächenschnitt bestätigt. Nur eine Schulter war makroskopisch im Gegensatz zum Ultraschallbefund unauffällig.

Bei den richtig positiven wurde jedoch eine komplette Ruptur nicht als solche erkannt.

Im Ultraschall wurden zwar Veränderungen diagnostiziert, diese erfüllten jedoch nicht die Kriterien einer kompletten Läsion.

Die lange Bizepssehne kam jeweils zusammen mit der Infraspinatussehne im Querschnitt zur Darstellung. Somit konnten zwölf Bizepssehnen im Großflächenschnitt beurteilt werden.

In zehn Fällen wurden sonographisch keine pathologischen Befunde erhoben. In acht Fällen wurde dies bestätigt. Bei den sonographisch falsch negativen Bizepssehnen stellten sich makroskopisch Sehnenauffaserungen dar.

Zwei als sonographisch auffällig beschriebene Präparate waren makroskopisch unauffällig.

Bei acht Schultergelenken wurden die Schnittpräparate quer zum Verlauf der Rotatorenmanschette angefertigt.

In fünf Fällen konnten sonographisch keine Auffälligkeiten nachgewiesen werden. Dies wurde in zwei Fällen makroskopisch bestätigt. Bei den drei anderen Präparaten bestanden Auffaserungen im Bereich der Infraspinatussehne. Diese Befunde konnten in der Infraspinatusschnittebene erfasst werden.

Bei zwei Präparaten wurden sonographisch falsch positive Befunde erhoben.

Die bei einem Präparat gefundene Unterbrechung der Bursalinie, welche als Ruptur der Sehne gedeutet wurde, wurde im Großflächenschnitt bestätigt.

Beim Vergleich der sonographischen Befunde mit den Großflächenschnitten ergibt sich für den Nachweis von Sehnendegenerationen eine Sensitivität von 92% und für die Spezifität von 75%. Das entspricht einer Gesamtgenauigkeit von 85 %.

Am wenigsten zuverlässig waren die Untersuchungsergebnisse für die lange Bizepssehne: Es wurden eine Sensitivität von 33%, eine Spezifität von 75% und eine Gesamtgenauigkeit von 64% ermittelt. Zu berücksichtigen ist jedoch die geringe Fallzahl.

Eine sehr hohe Sensitivität ergab sich für die längs dargestellten Supra- und Infraspinatussehnen und für die Darstellung des sehnigen Anteils der Rotatorenmanschette im Querschnitt mit jeweils 100%. Bei der Spezifität ergaben die Untersuchungen an der Infraspinatussehne ebenfalls eine Genauigkeit von 100%. Die Spezifität für die Supraspinatussehne ergab 66% und für die Darstellung der Rotatorenmanschette im Querschnitt 60%. Die Gesamtgenauigkeit beträgt somit für die Supraspinatussehne 93%, für die Infraspinatussehne 100%, für die Rotatorenmanschette im Querschnitt 75% und die Bizepssehne 64%.

Tabellarisch stellt sich dieses Untersuchungsergebnis so dar:

Befund	Sensitivität	Spezifität	Gesamtgenauigkeit
SS-längs	100%	66%	93%
IS-längs	100%	100%	100%
RM quer	100%	60%	75%
BS quer	33%	75%	64%

Tabelle 01: Darstellung der Sensitivität, Spezifität und Gesamtgenauigkeit der sonographisch nachgewiesenen Sehnendegeneration; verifiziert an Großflächenschnitten

06.4 Vergleich zwischen Kernspintomographie und morphologischen Befunden

Bei der kernspintomographischen Untersuchung war es wichtig die Präparate richtig zu lagern. Die Untersuchung lässt während eines Messvorganges keine Korrekturen zu. Kommen keine Sehnenstrukturen zur Darstellung muss geklärt werden, ob die Untersuchungsebene korrekt ist oder ob ein ausgedehnter Sehnendefekt vorliegt. Eine Wiederholung der Untersuchung ist zeitaufwendig.

Bei zehn Einstellungen war die Untersuchungsebene nicht korrekt, so dass keine Beurteilung möglich war. Dies betraf jeweils eine Ebene bei den untersuchten Präparaten.

Vier Schultern wurden kernspintomographisch als unauffällig befundet. Zwei dieser Schultern wurden morphologisch so aufgearbeitet, dass die Rotatorenmanschette im Querschnitt zur Darstellung kam. Die ausgewerteten Großflächenschnitte lassen keine pathologischen Veränderungen erkennen.

Ein weiteres Schulterpräparat ergab in der Supraspinatussehnen - Ebene, übereinstimmend mit der kernspintomographischen Untersuchung, einen unauffälligen Befund.

Im Bereich der Infraspinatussehne wurden im Großflächenschnitt ebenfalls keine Veränderungen festgestellt.

Die Supraspinatussehne wurde fünfzehn Mal im Großflächenschnitt untersucht. Die dazugehörigen kernspintomographischen Untersuchungen ergaben in fünf Fällen keinen pathologischen Befund. Diese Diagnose wurde in drei Fällen bestätigt, bei den beiden anderen Fällen bestanden eine ansatznahe Ausdünnung der Supraspinatussehne und eine komplette Läsion. Bei den zehn auffälligen Kernspin - Befunden wurde die Diagnose in neun Fällen bestätigt, in einem Fall wurde eine ansatznahe Strukturveränderung der Sehne in der Kernspintomographie beschrieben, im Großflächenschnitt ergaben sich jedoch unauffällige Sehnenstrukturen.

Die Infraspinatussehne und die Bizepssehne wurden zwölf Mal im Großflächenschnitt untersucht.

Die entsprechenden kernspintomographischen Untersuchungen ergaben für die Infraspinatussehne zwei und für die Bizepssehne zwölf Mal einen unauffälligen Befund. Diese Untersuchungsbefunde konnten in den Großflächenschnitten bestätigt werden. Für die Bizepssehne konnte neun Mal im Großflächenschnitt ein unauffälliger Befund bestätigt werden. In den drei falsch negativen Fällen waren auf den Großflächenschnitten Sehnenauflösungen festzustellen.

Bei zehn Schultergelenken wurden in der Kernspintomographie pathologische Veränderungen an der Infraspinatussehne diagnostiziert, dieses Ergebnis konnte in sieben Fällen bestätigt werden. Drei waren falsch positiv, wobei nicht bestätigte Aufquellungen, ansatznahe Veränderungen sowie Ausdünnungen der Sehne befundet wurden.

In acht Fällen wurde die Rotatorenmanschette im Querschnitt untersucht. In fünf kernspintomographischen Untersuchungen wurden keine Auffälligkeiten gesehen. In drei von diesen Fällen konnte dies im Großflächenschnitt bestätigt werden, in einem Fall (falsch-positiv) wurden Veränderungen an der Infraspinatussehne nicht durch die Kernspinuntersuchung erkannt. Bei einem weiteren Fall wurde im Großflächenschnitt eine reaktive knöcherne Veränderung der Sehnenansatzregion erkannt, die Kernspinuntersuchung ergab einen unauffälligen Befund (falsch-negativ).

Bei den zwei positiven Kernspindbefunden wurde in einem Fall das Fehlen von Sehnen richtig erkannt. In einem weiteren Fall wurden die Sehnen kernspintomographisch als nicht abgrenzbar befundet, was einer kompletten Ruptur entsprechen würde. Tatsächlich ergab sich im Großflächenschnitt ein Normalbefund. Im dritten Fall war die kernspintomographische Schnittebene nicht korrekt. Die Auswertung des Großflächenschnittes ergab eine komplette Ruptur.

Beim Vergleich der kernspintomographisch erhobenen Befunde mit den Großflächenschnitten ergibt sich für den Nachweis der Sehnendegenerationen eine Sensitivität von 60%, eine Spezifität von 85% und eine Gesamtgenauigkeit von 71 %. Am zuverlässigsten ist die Beurteilung der Rotatorenmanschette im Querschnitt mit einer Gesamtgenauigkeit von 100%.

Die Sensitivität für die Darstellung der Bizepssehne im Querschnitt beträgt 0%, die Spezifität 100% und die Gesamtgenauigkeit 73%. Zu berücksichtigen ist jedoch die geringe Fallzahl.

Die Sensitivität beträgt bezogen auf die Supraspinatussehne 58%, die Spezifität 100% und die Gesamtgenauigkeit 67%.

Für die Infraspinatussehne konnte eine Sensitivität von 75% ermittelt werden. Die Spezifität beträgt 25% und die Gesamtgenauigkeit 58%.

Das Gesamtergebnis lässt sich tabellarisch so darstellen:

Befund	Sensitivität	Spezifität	Gesamtgenauigkeit
SS-längs	58%	100%	67%
IS-längs	75%	25%	58%
RM quer	100%	100%	100%
BS quer	0%	100%	73%

Tabelle 02: Darstellung der Sensitivität, Spezifität und Gesamtgenauigkeit der kernspintomographisch nachgewiesenen Sehnendegeneration, verifiziert an Großflächenschnitten

07. DISKUSSION

Zahlreiche Veröffentlichungen befassen sich mit Veränderungen am Schultergelenk und deren Diagnostik mit Untersuchungstechniken wie Röntgen, Arthrographie, Sonographie, Computertomographie und Kernspintomographie sowie der Korrelation mit dem intraoperativen Befund. Jedes Verfahren hat seine Stärken und Schwächen. Keines dieser Verfahren ist geeignet, die vielfältigen Veränderungen am Schultergelenk vollständig zu erfassen.

Es müssen immer mehrere Verfahren nebeneinander angewandt werden um genaue Erkenntnisse über pathologische Veränderungen am Schultergelenk zu erhalten (69).

Bei Untersuchungen von menschlichen Geweben posthum muss grundsätzlich mit postmortalen Veränderungen gerechnet werden. Diese Veränderungen könnten die Untersuchungsergebnisse verfälschen (12, 46).

In den ersten 24 Stunden nach dem Tod sind histologische Veränderungen in bindegewebsreichen Strukturen wie Knorpel, Sehnen und Knochen nicht nachweisbar (73). Bei unserer Untersuchung wurde das Untersuchungsmaterial kurz nach eingetretenem Tod entnommen und sofort tiefgefroren und auf diese Weise konserviert.

Mit Hilfe der Nativ - Röntgendiagnostik ist es möglich Veränderungen am Knochen, insbesondere an Sehnenansätzen und den knöchernen Gelenkstrukturen zu erkennen. Für die Diagnostik von Veränderungen an der Knochenoberfläche gilt die Nativ - Röntgen - Untersuchung anderen Verfahren als überlegen (26).

Auch können Kalkeinlagerungen in den Sehnen nachgewiesen werden, die mitunter auch bei Individuen ohne Beschwerden gefunden werden. Mikroverkalkungen und Strukturveränderungen sind auf konventionellen Röntgenaufnahmen nicht erkennbar. Einigkeit besteht in der Literatur darüber, dass Nativ - Röntgenaufnahmen bei jeder Abklärung von Schultergelenksbeschwerden vorliegen sollten. Unverzichtbar sind die Anamneseerhebung und eine klinische Untersuchung bevor Röntgenaufnahmen angeordnet oder befundet werden (72, 83, 89).

Untersuchungen von MIDDLETON und Mitarb. (58) ergaben eine Überlegenheit der Ultraschalluntersuchung gegenüber der Arthrographie für die Beurteilung der Bizeps-

Sehne. Rotatorenmanschettenrupturen können durch die Anfertigung einer Arthrographie dargestellt werden. Aber auch stark degenerative Veränderungen der Sehnenplatten mit Mikrorupturen können zum Übertritt von Kontrastmittel in die Bursa subacromialis führen und so eine Ruptur der Rotatorenmanschette vortäuschen. Ebenso kann es z. B. durch Adhäsionen und Vernarbungen zum fehlenden Austritt des Kontrastmittels kommen, dies führt zu falsch negativen Ergebnissen (49). Die Arthrographie stellt eine wenig invasive Methode dar, die Gefahr einer iatrogenen Gelenkinfektion besteht, ist mit 0,002 % sehr gering, wenn die Punktion unter aseptischen Bedingungen erfolgt (84, 66). Eine genaue Nutzen - Risiko Abwägung für den Patienten ist erforderlich.

Mit dem Computer-Tomographen (CT) lassen sich in erster Linie knöcherne Veränderungen sowie reaktive Veränderungen wie Flüssigkeitsansammlungen im Gewebe nachweisen (16). Aussagen über den Zustand einzelner Sehnen sind nicht möglich. Ergänzend kommen Kontrastmittelinjektionen ins Gelenk mit Risiken wie Infektion und allergischen Reaktionen zum Einsatz. Die Untersuchung ist mit einer nicht unerheblichen Strahlenbelastung für den Patienten verbunden. Eine dynamische Untersuchung ist nicht möglich, der gerätetechnische Aufwand ist hoch (48).

Selbst der arthroskopisch erhobene Befund, der für den Patienten eine Operation bedeutet, lässt nur begrenzt Aussagen über Sehnenstrukturen zu. Bei der operativ durchgeführten Inspektion lässt sich nur ein relativ kleiner Ausschnitt vom gesamten Gelenk beurteilen. Die Beurteilung gelingt nur von der Bursaseite (Bursoskopie) und von der Gelenkseite aus. Die intratendinöse Struktur ist diesem Verfahren nicht zugänglich (42).

Die Sehnenunterflächen bleiben ohne Inzision dem Betrachter verborgen. Außerdem ist die makroskopische Beurteilung der Sehnenoberflächen von der Ausdehnung der Veränderungen, von der Erfahrung des Untersuchers und von der Qualität der Arthroskopie abhängig. Auch eine gute Bilddokumentation kann diese Probleme nur teilweise lösen. Die Ansatzregionen sind einer umfassenden Beurteilung nicht zugänglich. Aber gerade hier manifestieren sich pathologische Veränderungen in der Mehrzahl der Fälle.

Die Sonographie ist in der Lage die Sehnenstruktur im gesamten Verlauf

einschließlich der Sehnenansatzregionen darzustellen. Auch Flüssigkeitsansammlungen im Gewebe und im Gelenk lassen sich nachweisen.

Durch die Möglichkeit der dynamischen Untersuchung lässt sich die Aussagefähigkeit, sowie die Genauigkeit dieser Untersuchungsmethode verbessern. Ein Problem stellen Artefakte dar, die zu falschen Diagnosen führen können.

Bei entsprechender Erfahrung steht mit der Sonographie als nicht invasive Methode ein wichtiges Untersuchungsverfahren zur Verfügung (59,62). Für die Ultraschalluntersuchung am Schultergelenk hat sich der 7,5 - MHz - Linearschallkopf ohne Vorlaufstrecke bewährt (43, 48, 62, 68, 74). Dieser Schallkopf mit guter Detailauflösung kam auch bei unserer Untersuchung zur Anwendung. Eine gute Grauwertabstufung ist ebenso erforderlich sowie die Möglichkeit der Nahfokussierung (74, 84). Bei dem Einsatz von Sektorschallköpfen muß mit vermehrten Brechungs- und Beugungsartefakten gerechnet werden (14, 70). Aus diesem Grund sind sie für die Weichteiluntersuchung am Schultergelenk ungeeignet und finden im allgemeinen keine Verwendung.

Um Ankopplungsartefakte zu vermeiden sollte ein 7,5 MHz - Small - part - Linearschallkopf Verwendung finden. Auf den Einsatz von Vorlaufstrecken, die wiederum zu Artefakten führen können (74), kann somit verzichtet werden. Mit einem solchen Schallkopf sind auch im Randbereich weniger Störungen zu erwarten.

Die Technische Weiterentwicklung der Ultraschallgeräte und die zunehmende Erfahrung in der Ultraschalluntersuchung der Schulter haben zu einer sehr sicheren Untersuchungsmethode bei Schulterschmerzen geführt. MIDDLETON beschreibt eine Sensitivität von 90 % (60).

Die Kernspintomographie weist im Vergleich aller Untersuchungsmethoden das breiteste diagnostische Spektrum auf (75).

Dieses Verfahren gibt Informationen über die knöchernen Strukturen, Muskulatur, Sehnen und den Gelenkknorpel. Die anatomischen Verhältnisse lassen sich sehr gut darstellen (02, 05, 71, 79, 83). Problematisch ist die Einstellung des Gerätes auf die zu untersuchende anatomische Region sowie die Abbildung der Sehnen in Ihrem gesamten Verlauf (05, 55, 56). Eine Einstellungskorrektur während des Messvorganges ist nicht möglich. Die Geräte sind sehr teuer und benötigen einen großen und speziellen Untersuchungsraum.

Bei herkömmlichen Kernspintomographen liegt der Patient in einer engen Röhre und bei der Untersuchung entstehen laute akustische Phänomene. Patienten mit Platzangst können nur mit Sedierung untersucht werden.

Neuere Geräte sind zu einer Seite hin offen, sogenannte offene Kernspintomographen (z.B. E-Scan Fa. ESAOTE). Die Verbreitung solcher Geräte ist zu gering als dass sie für die flächendeckende Untersuchung zur Verfügung stünden. Ein besonderes Problem bei der Kernspintomographie ist das Erzielen von Bildern mit besonders hoher geometrischer Auflösung. Die exzentrisch gelegene Schulter ist (ohne die zusätzliche Anwendung von Spulen) nicht im Zentrum des Magnetfeldes (48, 89). Dies ist gerade beim Schultergelenk mit seiner komplexen Anatomie wichtig, um Band-, Knorpel- und Muskelstrukturen voneinander abzugrenzen. Außerdem sollt die Schichtdicke 3 mm nicht überschreiten. Um dies zu erreichen kommen als Hilfsmittel Oberflächenspulen zum Einsatz (05, 71).

Bei unserer Untersuchung stellten wir fest, dass es bei der Verwendung der Oberflächenspule zu einem starken Signalabfall kam, so dass die so gewonnenen Bilder keine zufriedenstellende Qualität aufwiesen (05). Dieses Problem schien am ehesten im Zusammenhang mit der zu geringen Masse des Schulterpräparates, trotz Zulage eines zehn kg schweren Phantoms, zu stehen. Optimale Bilder wurden von uns mit der Kopfspule erzielt. Wir wählten eine Schichtdicke von drei mm. Die gewählte Schichtdicke reichte nach unseren Vorstellungen aus, da die Präparate optimal in der Kopfspule ausgerichtet werden konnten. Die Einstellung der Schnittebenen konnte schematisiert werden. Auf diese Weise gelang es die interessierenden Strukturen darzustellen.

Nach NEER wird das Impingementsyndrom in drei Stadien eingeteilt. Im Stadium I besteht ein Ödem mit Einblutung, im Stadium II eine Fibrose mit Verdickung und im Stadium III eine Sehnenruptur mit knöchernen Veränderungen und Schulterkopfhochstand. Stadium I und II können durch eine konventionelle Röntgenuntersuchung nicht nachgewiesen werden (65).

Für die Identifizierung eines Impingementsyndrom Stadium III der Schulter ist das Nativ-Röntgen die geeignete Methode.

Die Kernspintomographie ist der Sonographie bei dieser Pathomorphologie (Impingement Stadium III) überlegen (55, 89).

Auch bei unserer Untersuchung wurde diese Pathologie radiologisch fünf Mal diagnostiziert, kernspintomographisch drei mal, sonographisch kein mal.

Bei den Großflächenschnitten wurde die Diagnose Impingement Stadium III nur ein Mal bestätigt.

Beide bildgebende Verfahren erwiesen sich bei unserer Untersuchung als wenig verlässlich.

In jedem Fall ist der klinische Befund richtungsweisend und nicht ersetzbar.

In der Regel machen Kalkeinlagerungen in den Sehnen (Tendinosis calcarea) keine Beschwerden. Sie stellen häufig einen Nebenbefund dar, der ohne klinische Relevanz ist. Sie können nach KRÄMER eine Reaktion auf stattgehabte andere Verletzungen sein, z.B. Rupturen (37). Diese Einschätzung lässt sich nicht beweisen und stellt am ehesten eine Vermutung dar.

Es ist nach unserer Untersuchung wahrscheinlich, dass die Veränderungen in den bildgebenden Verfahren früh zur Darstellung kommen bevor sie makroskopisch nachweisbar sind.

SELL und Mitarb. (81) untersuchten Läsionen der Rotatorenmanschette kernspintomographisch und sonographisch bei 37 sportlich aktiven Patienten. Als Referenzmethode zum Vergleich der Befunde wurde bei zwölf Patienten eine Arthroskopie bzw. Arthrotomie durchgeführt, bei den Übrigen eine Arthrographie. Beide Untersuchungsmethoden wurden als treffsichere Verfahren zum Aufdecken von Veränderungen an der Rotatorenmanschette eingeschätzt, die Kernspintomographie sei etwas empfindlicher im Nachweis degenerativer Veränderungen und in der Aussage zur Größe von Rotatorenmanschettenrupturen. Das Patientengut bestand aus siebenunddreißig sportlich aktiven Personen mit therapieresistenten Schulterbeschwerden. Die erhobenen Befunde wurden aber nur bei zwölf Patienten durch eine Arthroskopie bzw. eine Arthrotomie verifiziert.

VERBING und Mitarb. (89) kamen bei ihrer Arbeit über den Stellenwert der Magnetresonanztomographie in der Diagnostik von Schultererkrankungen zu einem ähnlichen Ergebnis. Die Kernspintomographie sei in der Routinediagnostik der Sonographie leicht überlegen. Aber auch hier fehlt unserer Meinung nach die geeignete Referenzmethode.

Als Referenzmethoden dienten die Verfahren: konventionelle Röntgenaufnahmen der Schulter, die Arthrographie und die CT - Arthrographie. Während beim Nachweis von Hill-Sachs-Deformitäten und Gelenkergüssen sich die MRT und Sonographie gleichwertig zeigten, war die MRT bei Beurteilungen von Labrum -Läsionen, Rotatorenmanschettenveränderungen, knöchernen, acromialen Randaufbauten und entzündlich - rheumatischen Synovialproliferationen der Sonographie überlegen.

Die Überprüfung der erhobenen Befunde ist ungenau.

MILBRADT und ROSENTHAL (62) stellten bei ihrer Arbeit fest, dass gerade die Sonographie geeignet sei, proliferative Synovialveränderungen auch bei sehr geringer Ausprägung sicher zu diagnostizieren. Diese Veränderungen stehen für degenerative Veränderungen. Diese Aussage konnte bei unserer Untersuchung nicht nachvollzogen werden, an unseren Präparaten konnten solche Veränderungen nicht nachgewiesen werden. Auf die Differenzierung solcher Veränderungen war unsere Versuchsanordnung nicht ausgerichtet. Derartige Beurteilungen können an Präparaten nicht vorgenommen werden.

Eine Beurteilung von Sehnen ist am Leichenpräparat unproblematisch.

Die lange Bizepssehne wurde von uns sonographisch im Sulcus intertubercularis quer dargestellt.

HANNESSCHLÄGER und Mitarb. (18) sehen die Sonographie als Methode der Wahl bei Verletzungen der langen Bizepssehne. Eine an der langen Bizepssehne entdeckte Läsion macht weitere pathologische Veränderungen an anderen Stellen im Schultergelenk wahrscheinlich. Rupturen haben einen charakteristischen Befund und sind meist eindeutig sonographisch darstellbar (68). Eine Referenzmethode fehlt auch bei dieser Untersuchung. Als Untersuchungsmethode mit dem höchsten Stellenwert wurde die Arthrographie bzw. das Arthro-CT gewählt.

HARLAND (21) stellt in einer Untersuchung fest, dass durch unterschiedliche Anschallwinkel Fehlinterpretationen entstehen können.

Gerade beim Ultraschall ist das Ergebnis der Untersuchung stark vom Untersucher abhängig (27,48, 62, 68).

Die Kernspintomographie ist auch in der Lage Verletzungen an der Bizepssehne zu identifizieren. Es ist jedoch nicht möglich auf einem Scan den gesamten Sehnenverlauf abzubilden.

Die in der Literatur angegebene Sensitivität zwischen 83% und 93% und Spezifität zwischen 91% und 100% mit einer Gesamtgenauigkeit von 90% bis 95 % für den sonographischen Nachweis von degenerativen Veränderungen am Schultergelenk konnten wir in unserer Untersuchung erneut belegen. Die unterschiedlichen Ergebnisse sind abhängig von Diagnosekriterien und von der jeweiligen Referenzmethode.

Die Kernspinuntersuchung des Schultergelenkes hat einen wichtigen Stellenwert in der Diagnostik von Veränderungen am Schultergelenk (87, 88). Häufige Indikationen für die Schulter - MRT stellen Läsionen der Rotatorenmanschette, rezidivierende Schulterluxationen, Osteonekrosen, Tumoren und Entzündungen dar (87).

Unter der Annahme, dass Veränderungen im Ansatzbereich, auch knöcherner Art, sich oft dem radiologischen Nachweis entziehen wird häufig die Kernspintomographie veranlasst. Die Vorstellung, dass sich mit der technisch aufwendigen Kernspintomographie Veränderungen besser erkennen lassen ist weit verbreitet aber nicht zutreffend.

D. B. BURK et al (08) haben in ihrer Untersuchung die Kernspinuntersuchung mit der Arthrographie und Sonographie verglichen. Die Auswertung ergab eine Sensitivität von 92% und Spezifität von 100% für den kernspintomographischen Nachweis von Rotatorenmanschettenverletzungen.

Bei dieser Untersuchung wurden Patienten mit Schmerzen untersucht. Verglichen wurde die Identifizierung von Veränderungen mit den bildgebenden Verfahren zu geklagten Schmerzen. Als zusätzliche Kontrolle wurde die Arthrographie herangezogen. Bei dieser Versuchsanordnung muss kritisch angemerkt werden, dass die Verifizierung der eigentlichen Veränderung an der Schulter nicht erfolgt ist. Auch merken die Untersucher selbstkritisch an, dass das Patientenkollektiv bei den Ultraschalluntersuchungen zu klein war.

Die von uns durchgeführte Untersuchung ergab für die Kernspintomographie eine geringere Zuverlässigkeit in Bezug auf die Sensitivität, Spezifität und Gesamtgenauigkeit.

Die von uns ermittelte Sensitivität betrug 60%, die Spezifität 85% und die Gesamtgenauigkeit 71 %.

Die Vergleiche sind schwierig, da von verschiedenen Untersuchungsansätzen ausgegangen wird, die Verifizierungen unterschiedlich sind und die morphologischen Differenzierungen nicht die gleichen sind. BURK's Untersuchung beinhaltet Schmerzen als Untersuchungskriterium, eine Größe, die unserer Untersuchung nicht zugrunde lag.

08. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Studie bewertet die Vor- und Nachteile der Sonographie und Kernspintomographie bei der Diagnostik des Schultergelenkes.

Die Schultersonographie hat sich als einfache, nicht invasive, kostengünstige, den Patienten kaum belastende und nahezu überall verfügbare Untersuchungsmethode etabliert. Sie kann als Routine - Untersuchung bezeichnet werden.

Als Referenzmethoden standen bisher nur die Arthrographie und als operative Methoden die Arthroskopie und die offene Operation zur Verfügung.

Die kernspintomographische Untersuchung stellt wie die Sonographie eine den Patienten wenig belastende, nicht invasive Untersuchungsmethode dar. Sie ist aber technisch aufwendig, nicht so häufig verfügbar und erheblich kostenintensiver als die Sonographie. Ohne eine hochauflösende Matrix sind die Untersuchungsergebnisse wenig aussagekräftig. Es müssen zusätzlich Oberflächenspulen zum Einsatz gebracht werden.

Der Einsatz offener Geräte bleibt einzelnen Zentren vorbehalten. Eine flächendeckende Versorgung ist noch nicht absehbar und unter den aktuellen wirtschaftlichen Bedingungen wenig wahrscheinlich.

Bisherigen Untersuchungen stand keine so aussagefähige Referenzmethode zur Verfügung. Selbst invasive Untersuchungsverfahren wie die Arthroskopie und offene Gelenkoperationen sind nicht so geeignet das Sehneninnere zu beurteilen wie Großflächenschnitte.

In der vorgelegten Studie konnten die Untersuchungsergebnisse der Ultraschalluntersuchung und der Kernspinuntersuchung direkt mit anatomischen Schnittpräparaten verglichen werden.

Für den sonographischen Nachweis degenerativer Sehnenveränderungen am Schultergelenk ergeben sich in unserer Studie eine Sensibilität von 92%, eine Spezifität von 75 % und eine Gesamtgenauigkeit von 85%.

Für die Kernspintomographie ergeben sich eine Sensibilität von 60%, eine Spezifität von 85% und eine Gesamtgenauigkeit von 71%.

Die vorliegende experimentelle Studie belegt, dass die Kernspintomographie der Sonographie beim Nachweis degenerativer Veränderungen am Schultergelenk trotz des großen technischen Aufwandes nicht überlegen ist.

Die weitverbreitete und kostengünstige Ultraschalluntersuchung hat zu Recht einen hohen Stellenwert bei der Diagnostik von Schultererkrankungen.

Abstract

This study assesses the pros and cons of sonography and MRI scanning as to diagnose disorders of the shoulder.

The sonography of the shoulder has proven to be easy to use, non invasive, cost effective, well tolerated and widely available. Sonography can be referred to as a routine methode.

Until recently arthroscopy and operative exploration were regfarded as reference. The MRI of course also is well tolerated and non-invasive but it is clearly not as widely available and not near as cost effective compared to sonography. Without using high resolution matrix MRI scans can not to be evaluated accordingly. To achieve high resolution scans with the MRI additional coils are necessary.

Open MRI machines to which some of the aforementioned disadvantages may not apply are stile not widly available and their use is limited to special centers only. However it is arguable that under the current political environment this will change within the foreseeable future.

Until recently valid reference methods were lacking. Neither arthroscopy nor open surgery are able to assess the inner structures of a tendon itself. Incomplete ruptures cannot be assessed and imaging the whole course of a tendon is not possible.

This study compares sonography and MRI with anatomical models.

Sonography was sensitive in 92 % and specific in 75 % of the cases and it had an over all acuracy of 85 %. MRI was sensitive in 60 % and specific in 85 % and had an overall acuracy of 71 %. This study reflects that MRI is not supperior to sonagraphy. Its use is evidencebased and cost saving acurate and employs several advantages in respect to dynamiclly examine complex anatomical structures in three dimensions.

09. LITERATUR

01. Bandi W., Die Läsion der Rotatorenmanschette, Helv Chir Acta 1981, 48 ; 537-49
02. Bassett LW., Gold Rh., Magnetic resonance imaging of the musculo-skeletal system; an overview , Clin. Orthop. 1989, 244; 17-28
03. Beltran J., Simon D., Katz W., Weis L., Increased MR signal intensity in skeletal muscle adjacent to malignant tumors: Pathologic correlation and clinical relevance, Radiology 1987, 162; 251-55
04. Benz G., Schmid H., Daum R., Disorders of vaskularisation following fraktur of the ankle joint in children, Z-Kinderchir. 1988, 43(3) ; 183-5
05. Beyer D. et al., Anatomie des Schultergelenks mit Oberflächenspule bei 1,5 T, Anatomie und mögliche klinische Anwendung, Rfö 1987, 146(3); 294-9
06. Birkner, R., Das typische Röntgenbild des Skeletts, 2. Aufl.
Urban & Schwarzenberg München-Wien-Baltimore
07. Brockelmann J., Bald R., von Hagens G., Hansmann M., Sonography and large plastinated sections of the pelvis, Arch-Gynecol-obstet. 1989, 245(1-4) ; 106-7
08. Burk D. L. et al, Rotator Cuff Tears: Prospective Comparison of MR with Arthrography, Sonography, and Surgery, AJR, 1989, 153, 87-92
09. Dobrinski W., Kremer H., Sonographische Diagnostik, 3. Auflage
1988, Urban & Schwarzenberg
10. Dussik, K., Possibility of using mechanical high frequency vibrations as a diagnostic aid, Z. f. Neurol. Psychiatr., 1942, 174; 153-168
11. Felix R., Ramm B. Das Röntgenbild, 2. Auflage, 1982
Georg Thieme Verlag Stuttgart - New York
12. Fullerton G., Cameron D., Orientation of tendons in the magnetic field and its effect on T₂ relaxation times, Radiology 1985, 155; 433-35
13. Gladisch R., Praxis der abdominalen Ultraschalldiagnostik, 2. Aufl.
Schattauer, 1992
14. Godsil R. D., Linscheid R. L., Intratendinosus defects of the rotator cuff, Clin. Orthop. 1970, 69; 181-188
15. Graf R., Schuler P., Sonographie am Stütz- und Bewegungsapparat bei Erwachsenen und Kindern, 53-94, Verlag edition medizin VCH 1988

16. Habermeyer P., Mayer r., Mayr B., Brunner U., Sachs G., Vergleichende Diagnostik der Rotatorenverletzung durch Arthrographie, Coputertomographie und Sonographie, Z. Unfallchir Vers med Berufsk., 1984; 77; 121 - 129
17. Hagens von, G., Heidelberger Plastinationshefter 1985, Deutsche Auflage, Heidelberg
18. Hanneschlager G., Riedelberger W., Lesions of the long head biceps.... Rfö Sep. 1991, 151 (3); 331-7
19. Harland U., Die sonographische Untersuchung des Schultergelenkes Med Orthop Tech 1986, 106, 48 - 52
20. Harland U. , Schultersonographie, Ultraschall in Klinik und Praxis 2 1987;10-18
21. Harland U., Die Abhängigkeit der Echogenität vom Anschallwinkel an Muskulatur und Sehngewebe, Z.Orthop. 1988, 126; 117 - 124
22. Harland U., Sattler H., Ultraschallfiibel, Springer, Berlin-Heidelberg-New Jork, 1. Aufl. 1991
23. Hetdmann A., Weber A., Schleberger R., Fett H., Ultraschalluntersuchung des Schultergelenkes, Orthop. Praxis 1986; 647-661
24. Hedtmann A., Fett H., Atlas und Lehrbuch der Schultersonographie, 2. Auflage, Funke., Stuttgart 1989
25. Hedtmann A., Fett H., Erkrankungen der Schultermanschette in Gohlke F., Hedtmann A. Hrsg. Schulter (Hrsg), Georg Thime Verlag, Stutgart New Jork, 1997
26. Hodler J. et al, MRI und sonography of the shoulder Clin. Radiol. 1991, 43(5) 323-7
27. Holder J., Terrier F., Gerber C., Sonography of the shoulder, Ther-Umsch. 1989 Mar, 46(3); 158-63
28. Huber D., Sauter R., Mueller E., MR imaging of the normal shoulder Radiology 1986, 158 ; 405-408
29. Jessner A., Die klinische Untersuchung der Schulter, Orthopäde, 1995; 24, 475-482

30. Kaarmann H., Ultraschall - Physikalische Grundlagen und Technik
In: Simanowski J.O, Mendel V. (Hrsg.) Ultraschall in der Chirurgie
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1991
31. Kahle W., Leonhard H., Platzer W. Taschenatlas der Anatomie
-Bewegungsapparat- 1986, Georg Thime Verlag, München
32. Katthagen BD., Schultersonographie, Georg Thieme, Stuttgart, 1988
33. Keyl W., Verletzungen des Schultergürtels, in: Burri C., Rüter A (Hrsg) Hefte
Unfallheilkunde 160; 251-260
34. Kieft G., Bloem G., Obermann W., Normal shoulder: MR imaging
Radiology 1986, 159 ; 741-745
35. Kneeland J., Middleton W., Carrera G., Zenge R., Jesmanowicz A.,
Franciszk W., MR imaging of the shoulders: diagnosis of rotator cuff tears, AJR
1987, 49; 559- 564
36. Köhler/Zimmer; Schmidt H., Freyschmidt J., Grenzen des Normalen und Anfänge
Des Pathologischen im Röntgenbild des Skeletts, 13. Auflage, Thieme Verlag,
Stuttgart
37. Krämer K.- L., Stock M., Winter M. Klinikleitfaden Orthopädie
Jungjohann Verlagsgesellschaft 2. Auflage 1993
38. Kresse H., Sonographie: Sonographisch-physikalische Grundlagen - Apparaturen
Internist, 1976, 17; 539-548
39. Krestel, E., Bildgebende Systeme für die med. Diagnostik und technische
Lösungen, Berlin Siemens Aktienges. 1988, 2. Auflage
40. Kujat R., Das Impingementsyndrom der Schulter
Unfallchirurg 1986, 89 ; 408-417
41. Kuttruff H., Physik und Technik des Ultraschalls, Hirzel, Stuttgart, 1988
42. Lilleby H., Arthroskopie bei Ruptur der Rotatorenmanschette, 1986, Orthop.
Prax.; 22, 94
43. Liou Tj., Wilson Aj., Totty Wg., Brown J., The normal shoulder: commun
variations that simulate pathologic conditions at MR imaging, Radiology 1993
Feb, 186(2); 435-41

44. Lisch G., Traumatischer Muskelknochen im Supraspinatus, Fortschr. Röntgenstr. 1961, 94; 279-280
45. Löffler L., Ultraschalldiagnostik am Bewegungsapparat, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1989
46. Ludwig, FJ., Grundlagen der Schultersonographie, 1987, Med. Diss., Homburg
47. Lutz, H., Ultraschallfibel Innere Medizin, 2. Aufl., Springer Verlag, 1989
48. Mellerowitz H., Kefenbaum A., Stelling E., Weichteildiagnostik am Schultergelenk durch Sonographie, Computertomographie und MRI, Zentralbl. Chir. 1989, 114 ; 209-221
49. Melzer Ch., Krödel A., Refior H., Der Wert der Arthrographie in der Diagnostik traumatischer und degenerativer Veränderungen der periartikulären Strukturen des Schultergelenkes, Unfallchirurg 1986, 89, 243 - 247
50. Melzer Ch., Sauer B., Enenkel Th., Sonographische Diagnostik der periartikulären Strukturen des Schultergelenkes, Ultraschall Klein. Prax 3 1988, 173 - 179
51. Melzer Ch., Kohn D., Lazovic D., Wirth C., Stellenwert der Sonographie, Arthrographie und Arthroskopie in der Diagnostik der Schultererkrankungen Arthroskopie 1989, 2; 128 - 133
52. Melzer Ch., Entstehung und Bedeutung von Artefakten bei der sonographischen Diagnostik des Säuglingshüftgelenkes unter Berücksichtigung morphologischer Gegebenheiten, Habilitationsschrift, Gießen 1991
53. Melzer Ch., Finkewitz U., Vergleichende sonomorphologische Untersuchungen der periartikulären Strukturen des Schultergelenks, Ultraschall Klin Prax, 1993, 83-7
54. Melzer Ch., Wallny T., Wirth C. Hoffmann S., Frozen shoulder - treatment and results, Arch. Orthop. Trauma Surg. 1995, 114; 79 - 82
55. Meyer SJ, Dalinka MK., Magnetic resonance imaging of the shoulder, Orthop. Clin. North Am. 1990, 24(3); 497-513
56. Middleton et al, High resolution surface coil magnetic resonance imaging of the joints anatomic correlation, Radiographics 1987, 7(4); 645-683
57. Middleton W., Ultrasonography of rotator cuff pathology, 1994 Top Magn Reson Imaging, 6(2); 133-8

58. Middleton W., Reinus W., Totty W., Melson C., US of the tendon apparatus
Radiology 1985, 157; 211-15
59. Middleton W., Reinus W. et al, Ultrasonographic Evaluation of the Rotator cuff
and Biceps Tendon The Journal of Bone and Joint Surgery 1986, 68-A; 440-449
60. Middleton W, Teefey S., Yamaguchi K., Sonography of the Shoulder,
1998, Semin Musculoskelet Radiol; 2(3), 211-222
61. Middleton W. et al, High-resolution MR imaging of the normal rotator cuff,
AJR Am J Roentgenol, 1987, 148(3); 559-64
62. Milbrandt H, Rosenthal H., Sonographie des Schultergelenks. Untersuchungs-
technik, Sonomorphologie und diagnostische Bedeutung, Radiologe (28), 1988,
61-68
63. Mosley H. F., Shoulder lesions, 3rd ed., Churchill/Livingstone, Edinburgh/ London
1972
64. Münzenberg K. J., Orthopädie in der Praxis, VHC Verlagsgesellschaft, Weinheim
65. Neer C., Anterior acromio-plasty for the chronic impingement syndrome in the
shoulder: a preliminary report, 1972, J. Bone Joint Surg.; 54-A ; 41
66. Newberg A. H., Munn CcH. D., Robbins A. H., Complications of arthrography,
Radiology 1985, 155; 605
67. Niethard F., Pfeil J., Orthopädie, Hippokrates Verlag Stuttgart, 1989
68. Obrist J., Meusbürger S., Value and limits of shoulder ultrasonography,
Aktuel. Traumatologie 1991, Apr. 21(2); 53-7
69. Pfeiffer M., Gotzen L., Morphologische Korrelate sonographischer Bilder
von Schultergelenken am Lebenden und Präparat, 1987, Unfallchirurg,
90; 566-569
70. Rathbun J., MacNab I., The microvascular pattern of the rotator cuff,
J. Bone Joint Surg. 1970, 52; 541-53
71. Refior H. J., Krödel A., Melzer C., Examinations of the Pathology of the
Rotator Cuff, Arch. Orthop. Trauma Surg. 1987, 106; 301-308
72. Reiser M. et al., Möglichkeiten der magnetischen Resonanz Tomographie (MRT)
in der Diagnostik des Schultergelenks, Radiologe 1988, 28(2); 79-83
73. Riede U.N., Schaefer H.E., Allgemeine und spezielle Pathologie,
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1999

74. Rössler H., Rupturen der Rotatorenhnenplatte, Z Orthop 1976, 14 ; 282-294
75. Rogers L., Hendrix R., The painful shoulder, Radiol. Clin. North Am. 1988; 26(6); 1359-71
76. Rothmann R., Parke W., The vascular anatomy of the rotator cuff, Clin Orthop., 1965, 41; 176-186
77. Sattler H., Harland U., Arthrosonographie, Springer Verlag, 1988
78. Schonknecht G., Grundlagen der Ultraschalldiagnostik, Dtsch. Krankenpflege - Zeitschrift, 1976, 11; 610-612
79. Seeger L. Magnetic resonance imaging of the shoulder, Clin. Orthop. 1989; 244; 48-59
80. Seibold R., Eitel F., Waldner H., Brunner U., Hagens von G., Neuartige Anwendung der Plastination in der Knochenhistologie, Unfallchirurg 1991 Dec., 94(12) ; 624-33
81. Sell S., König H., Kernspintomographische und sonographische Darstellbarkeit anatomischer Strukturen des Schultergelenks, Sportverletz. Sportschaden 1991, 5(2); 96-98
82. Sell S., et al. Die Kernspintomographie und Sonographie in der Diagnostik von Läsionen der Rotatorenmanschette, Sportverletz. Sportschaden 1992, 6(1); 20-3
83. Snyder SJ., Rotator cuff lesions. Acute and chronic, Clin. - Sports Med. 1991, 10(3); 595-614
84. Stahl Ch., Konermann H., Kuck W., Sonographie bei Periarthropathia humero-scapularis 1986; Orthop. Praxis, 662-669
85. Thelen M., Ritter M., Bücheler E., Radiologische Diagnostik der Verletzungen von Knochen und Gelenken 1993, Thieme
86. Touzard R., Pigeau I., Doursounian L., Maigne J., Contribution of echographic magnetic resonance imaging in the study of subacromial diseases. Surgical and arthrographic correlations, Chirurgie 1991, 117(7); 569-76
87. Vahlensieck M., Resendes M., Genant H., MRI of the shoulder, Bildgebung. 1992 Sep, 59(3); 123-32
88. Vahlensieck M., Pollack M., Lang P., Grampp S., Genant Hk., Two segments of the supraspinosus muscle :cause of high signal intensity at MR imaging? Radiology 1993 Feb 186(2); 449-54

89. Verbing T. et al., Stellenwert der Magnetresonanztomographie in der Diagnostik von Schultererkrankungen, Rfö 1991; 1154(2); 143-9
90. Wallny T., Melzer Ch., Wagner U., Wirth C., Schmitt O., Die primäre Schultersteife: Krankheitsdauer und Therapievergleich, Z. Orthop. 1997, 135; 222 - 227
91. Wening J., Triebel H., Holst A., Jungblut K., Die Sonographie als Screeningmethode bei Verdacht auf Ruptur der Rotatorenmanschette, Unfallchirurgie 1987, 13; 60-63
92. William D., Middleton M., William R., Reinus M. et al, Ultrasonographic Evaluation of the Rotator Cuff and Biceps Tendon, J Bone Jt Surg 1986 ; 68 - A, 440 - 450
93. Wirth CJ., Kohn D., Melzer C., Markal A., Wertigkeit diagnostischer Maßnahmen bei Weichteilerkrankungen und Weichteilschäden des Schultergelenks, Unfallchirurg 1990, 93: 339 -345
94. Wolf W., Shoulder tendinosis, Clin. - Sports. Med. 1992, 11(4); 871-90

E R K L Ä R U N G :

„Ich erkläre:

Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe.

Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind,

und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünfte beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" niedergelegt sind, eingehalten."

Bernd Möhring
Am Evelsmoor 27
26125 Oldenburg

Lebenslauf

Alter:	38 Jahre	
Familienstand:	Verheiratet	
Kinder:	Drei Töchter	
Staatsangehörigkeit:	Deutsch	
Ausbildung:	1986 1986 bis 1987 1987 bis 1994	Abitur in Braunschweig Grundwehrdienst, Sanitäter Hochschulstudium der Humanmedizin an der Justus Liebig Universität in Gießen
	11.93 bis 02.94	Wahlfach Orthopädie im PJ
Berufsausbildung:	01.95 bis 06.96	Arzt im Praktikum Chirurgische Klinik Städtisches Klinikum Braunschweig Chefarzt: Dr. med. H. Zimmermann
	07.96 bis 06.02	Assistenzarzt Zentrum für Chirurgie St.-Josefs-Hospital in Cloppenburg Chefärzte: Dr. med. H. Faust: Viszeralchirurgie Dr. med. H. Hungerbühler: Gefäßchirurgie Dr. med. L. Olivier: Unfallchirurgie
	25.04.02	Facharztprüfung für Chirurgie
	07.02 bis 12.03	Funktionsoberarzt an der Fachklinik für Rehabilitation, Rheuma und AHB Bad Zwischenahn Chefarzt: Dr. med. H. Dietz
	01.04.	Assistenzarzt in der Klinik für Orthopädie im St. Antonius-Stift Emstek, Chefarzt: Prof. Dr. med. K. Jahn

DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. C. Melzer, Chefarzt Fachkrankenhaus für Orthopädie Bad Döben, für die Überlassung des interessanten Themas, die gelungene Einführung und die kontinuierliche Mitarbeit über den gesamten Zeitraum. Seine fachliche Kompetenz, selbstlose Unterstützung und menschliche Art verdienen höchsten Respekt und haben meine uneingeschränkte Hochachtung.

Herrn Prof. Dr. H. Stürz, Direktor der Orthopädischen Klinik der Justus-Liebig-Universität Gießen, für die von ihm geschaffenen Bedingungen an der Orthopädischen Universitätsklinik Gießen wissenschaftliche Arbeiten durchführen zu können.

Herrn Prof. Dr. A. Schulz, Direktor des Pathologischen Institutes der Justus Liebig Universität Gießen, und seinen Mitarbeitern für die Bereitstellung der Schulterpräparate .

Herrn Priv. – Doz. Dr. med. G. F. Bachmann, Chefarzt der Abteilung Diagnostische Radiologie der Kerckhoff-Klinik Bad Nauheim, bei der Durchführung und Befundung der kernspintomographischen Untersuchungen.

Insbesondere Danke ich Frau Singer im Histologischen Labor der Orthopädischen Klinik der Justus Liebig Universität Gießen für die stetige, zuverlässige und effektive Unterstützung bei der Durchführung der gesamten Arbeit.

Herrn A. Buchhorn, Chef- Präparator am II. Anatomischen Institut der medizinischen Hochschule Hannover für die Durchführung der Plastination der Schulterpräparate.

Den Mitarbeitern der Radiologischen Abteilung, Orthopädische Universitätsklinik Gießen bei der Anfertigung der Röntgenbilder.

Frau Passlack, Foto-Abteilung der Orthopädischen Klinik der Justus Liebig Universität Gießen für die zuverlässige Anfertigung von hervorragendem Bildmaterial.

Mein größter Dank gilt meiner lieben Frau Britta und meiner Familie die durch ihre tägliche Unterstützung und ihr uneingeschränktes Verständnis schließlich und endlich zur Fertigstellung der Arbeit beigetragen haben.